

EVALUASI EMISI KARBON MONOKSIDA DAN PARTIKEL HALUS DARI KENDARAAN BERMOTOR DI KOTA SEMARANG



Tesis

OMRI SIANTURI
L4K-002052

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
TAHUN 2004**

UPT-PUSTAK-UNDIP

Evaluasi Emisi Karbon Monoksida dan Partikel Halus dari Kendaraan Bermotor di Kota Semarang

Disusun oleh :


Omri Sianturi

L4K-002052

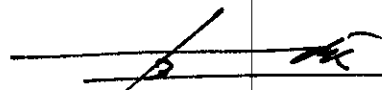
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 19 Juni 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

Pembimbing I

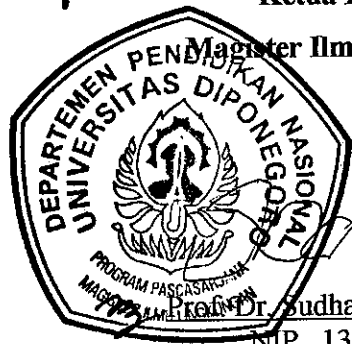

Ir. Agus Hadiyaharto, MT

Pembimbing II


Ir. Syafrudin, CES, MT

Ketua Program

Magister Ilmu Lingkungan




Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

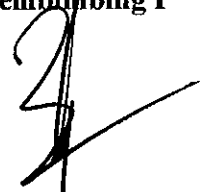
NIP. 130 810 134

Judul Tesis : Evaluasi Emisi Karbon Monoksida dan Partikel Halus
dari Kendaraan Bermotor di Kota Semarang
Nama Mahasiswa : Omri Sianturi
NIM : L4K-002052
Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan
Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

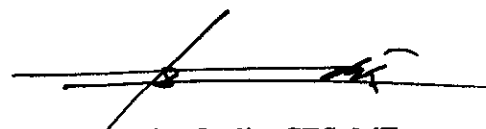
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 19 Juni 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

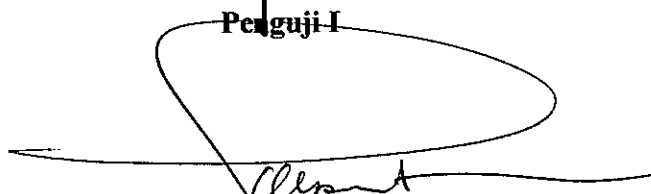
Pembimbing I


Ir. Agus Hadyarto, MT

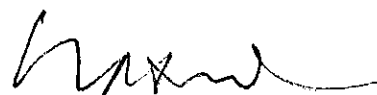
Pembimbing II


Ir. Syafrudin, CES, MT

Penguji I

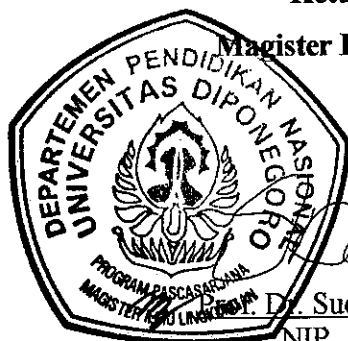

Dr. Ir. Purwanto, DEA


Penguji II


Ir. Nasrullah, MS

Ketua Program

Magister Ilmu Lingkungan




Dr. Sudharto P. Hadi, MES
NIP. 130 810 134

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan pustaka dan isi tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Semarang, Juni 2004

Penulis

Omri Sianturi

NIM. L4K 002052

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat dan anugerah-Nya penulis telah mampu menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini merupakan syarat untuk kelulusan Magister Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro Semarang. Tesis yang berjudul **“Evaluasi Emisi Karbon Monoksida Dan Partikel Halus Dari Kendaraan Bermotor Di Kota Semarang”** telah disidangkan dan diperbaiki sebagai tanggapan dan koreksi dari tim penguji dan pembimbing untuk penyempurnaan.

Selama penulisan tesis ini telah banyak bimbingan dan masukan yang diberikan baik dari pembimbing, penguji, pengelola MIL dan lainnya. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Sudharto P.Hadi, MES sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan
2. Ir. Agus Hadiyarto, MT sebagai Pembimbing I
3. Ir. Syafrudin, CES, MT sebagai Pembimbing II
4. Dr. Purwanto, DEA sebagai Penguji I
5. Ir. Nasrullah, MS sebagai Penguji II
6. Ir. Nurdin Manurung, MM. Kasubdit Jalan Tol Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, sebagai atasan
7. Ir. Mochtar Napitupulu, MSC, MIHT Pemimpin Proyek Pembinaan Manajemen Prasarana Wilayah Ditjen. Prasarana Wilayah, Dept. Kimpraswil

8. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan Kimpraswil, yang telah memberikan informasi dan data.
9. Para dosen, pengelola dan karyawan Program Magister Ilmu Lingkungan UNDIP yang telah memberikan kuliah dan membantu selama kuliah sampai selesai.
10. Lasria Rohana Marina Istriku tercinta, anak-anakku Pokki, Hanna dan Mian yang saya kasihi yang dengan begitu sabar dan penuh pengorbanan dalam proses penyelesaian kuliah saya di Semarang.
11. Kedua orang tua dan mertua beserta keluarga yang telah memberikan dukungan doa dan materi demi lancarnya pelaksanaan kuliah
12. Teman-teman kelas Magister Ilmu Lingkungan Kimpraswil, yang telah berbagi suka dan duka selama kuliah
13. Teman-teman Kantor Departemen Kimpraswil, yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian kuliah dan tesis.
14. Serta lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu-satu yang telah memberikan dukungan, masukan dan dorongan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian, harapan penulis tesis ini mampu memberikan masukan kepada pihak yang berkepentingan sesuai dengan tujuan. Segala pertanyaan dan tanggapan akan selalu terbuka demi lebih sempurnanya tesis ini. Semoga ketulusan dan kebaikan hati Bapak/Ibu/Saudara mendapatkan imbalan dari Tuhan Yang Maha Kuasa, Amen.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRACT	xii
ABSTRAK.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Kegunaan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian Pencemaran Udara.....	5
2.1.1 Komposisi Udara Di Atmosfer	6
2.1.2 Pencemar Udara dan Sumbernya.....	7
2.1.3 Dampak Dari Pencemaran Udara.....	9
2.2. Pencemaran Udara Di Daerah Perkotaan.....	10
2.2.1. Konsumsi Bahan Bakar	11
2.2.2. Emisi Kendara Bermotor	13
2.2.3. Pengolahan Gas Buang dan Partikulat Sumber Bergerak.....	14

2.3. Zat Pencemar Gas Karbon Monoksida (CO	17
2.4. Partikel Halus (PM ¹⁰	20
2.5. Model Pencemaran Udara	22
2.5.1 Model Dispersi Menurut Gauss	22
2.5.2 Prediksi Kosentrasi Pencemar Udara dengan Hiway-2 TM	26
2.5.3. Meteorologi Pencemaran Udara	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lingkup Penelitian	32
3.2. Lokasi Penelitian	32
3.3. Tahapan Pekerjaan Penelitian	35
3.4. Tahap Pengumpulan Data.....	36
3.5. Tahap Perhitungan.....	37
3.6 . Dengan Software Hiway-2 tm	37
3.7. Pembahasan Hasil.....	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum.....	40
4.1.1 Kondisi Transportasi Kota Semarang.....	40
4.1.2 Lokasi Pengambilan Data	42
4.2. Komposisi Kendaraan dan Volume Lalulintas Selama 24 Jam	44
4.3 Parameter Kualitas Udara CO dan PM ¹⁰	49
4.4 Perhitungan Besarnya Emisi CO dan PM ¹⁰ . Tahun 2000.....	50
4.5 Simulasi Dispersi Parameter Udara	51
4.5.1. Perkiraan Pertumbuhan Jumlah kendaraan	52
4.5.2. Iklim Kota Semarang	54
4.5.3. Validasi Model.....	56

4.5.4. Prediksi Konsentrasi CO dan PM 10 di Udara Ambien Tahun 2006 sampai Tahun 2010	59
4.6. Upaya Pengelolaan yang disarankan.....	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Konsentrasi Gas-Gas Dalam Atmosfer Pada Udara Kering Dan Bersih	7
Tabel 2.2.	Komposisi Emisi Pencemar Udara Di Lima Kota Besar Indonesia	11
Tabel 2.3.	Faktor Koreksi Bahan Bakar Dasar Kendaraan	13
Tabel 2.4.	Nilai Faktor Emisi Untuk Beberapa Jenis Kendaraan.....	14
Tabel 2.5.	Konsentrasi emisi gas buang berdasarkan moda pengoperasian	16
Tabel 2.6.	Konsentrasi CO di Udara, Hubungannya dengan Konsentrasi Hb Dalam Darah	19
Tabel 2.7.	Tanda Gejala Pada Berbagai Konsentrasi Hbco Dalam Darah	20
Tabel 2.8.	Harga p Untuk Persamaan Profil Kecepatan Angin Power Law	28
Tabel 2.9.	Kestabilan Atmosfer (Pasquill – Gifford	30
Tabel 4.1.	Kepemilikan Kendaraan di Kota Semarang	40
Tabel 4.2.	Volume Dan Komposisi Lalu Lintas Jalan Pandanaran	45
Tabel 4.3.	Volume Dan Komposisi Lalu Lintas Jalan Imam Bonjol	46
Tabel 4.4.	Volume Dan Komposisi Lalu Lintas Jalan Setyabudi	48
Tabel 4.5.	Konsentrasi CO Dan PM_{10} dalam 24 jam.....	50
Tabel 4.6.	Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2000	51
Tabel 4.7.	Emisi PM^{10} 24 Jam pada Tahun 2000	51
Tabel 4.8.	Hasil Analisis Trend Pertumbuhan Jumlah Kendaraan.....	52
Tabel 4.9.	Data Kejadian Angin di BMG Stasiun Meteorologi Maritim Semarang Tahun 1988 - 2002	54
Tabel 4.10.	Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2000	56
Tabel 4.11.	Perbandingan Konsentrasi CO 24 Jam Hasil Simulasi dengan Pemantauan.....	57

Tabel 4.12. Perbandingan Kosentrasi PM ¹⁰ 24 Jam Hasil Simulasi dengan Pemantauan.....	57
Tabel 4.13. Perbedaan Konsentrasi CO dan PM ¹⁰ Antara Hasil Perhitungan menggunakan MS Excel dengan Hasil Pemantauan.....	59
Tabel 4.14. Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2006	60
Tabel 4.15. Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2007	60
Tabel 4.16. Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2008	60
Tabel 4.17. Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2009	61
Tabel 4.18. Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2010	61
Tabel 4.19. Emisi PM ¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2006	61
Tabel 4.20. Emisi PM ¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2007	62
Tabel 4.21. Emisi PM ¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2008	62
Tabel 4.22. Emisi PM ¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2009	62
Tabel 4.23. Emisi PM ¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2010	62
Tabel 4.24. Kosentrasi CO 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010 Lokasi Jalan Pandanaran.....	63
Tabel 4.25. Kosentrasi CO 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010 Lokasi Jalan Imam Bonjol.....	65
Tabel 4.26. Kosentrasi CO 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010 Lokasi Jalan Setiabudi.....	67
Tabel 4.27. Kosentrasi PM ¹⁰ 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010 Lokasi Jalan Pandanaran.....	69
Tabel 4.28. Kosentrasi PM ¹⁰ 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010 Lokasi Jalan Imam Bonjol.....	70
Tabel 4.29. Kosentrasi PM ¹⁰ 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010 Lokasi Jalan Setiabudi.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skema Pencampuran Polutan ke Atmosfer.....	6
Gambar 2.2	Perubahan profil Kecepatan Angin.....	29
Gambar 2.3.	Koefisien difusi σ_z dan σ_y	31
Gambar 3.1.	Lokasi Penelitian.....	34
Gambar 3.2.	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	35
Gambar 3.3.	Tahapan Perhitungan Emisi	37
Gambar 4.1.	Lokasi Pengamatan 1	42
Gambar 4.2.	Lokasi Pengamatan 2	43
Gambar 4.3.	Lokasi Pengamatan 3	44
Gambar 4.4.	Mawar Angin.....	55
Gambar 4.5.	Konsentrasi CO Akibat Lalulintas di Jalan Pandanaran	64
Gambar 4.6.	Konsentrasi CO Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jalan Pandanaran.....	64
Gambar 4.7.	Konsentrasi CO Akibat Lalulintas di Jalan Imam Bonjol	65
Gambar 4.8.	Konsentrasi CO Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jalan Imam Bonjol	66
Gambar 4.9.	Konsentrasi CO Akibat Lalulintas di Jalan Setiabudi.....	67
Gambar 4.10.	Konsentrasi CO Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jalan Setiabudi	68
Gambar 4.11.	Konsentrasi PM ¹⁰ Akibat Lalulintas di Jalan Pandanaran.....	69
Gambar 4.12.	Konsentrasi PM ¹⁰ Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jalan Pandanaran.....	69

Gambar 4.13. Kosentrasi PM^{10} Akibat Lalulintas di Jalan Imam Bonjol	70
Gambar 4.14. Konsentrasi PM^{10} Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jalan Imam Bonjol	70
Gambar 4.15. Kosentrasi PM^{10} Akibat Lalulintas di Jalan Setiabudi.....	72
Gambar 4.16. Konsentrasi PM^{10} Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jalan Setiabudi	73

Abstract

The amount of the vehicle in Semarang is getting increase, the roads are increasingly crowded by many vehicles, the traffic jam become daily sight, this causes environment's quality getting worse and worse. Air pollution as the effect of emission of vehicle cannot be avoid, air quality is getting decrease. Carbon monoxide and soft particle are a pollutant that is emitted by motorized-vehicle into the ambient air, the extremely dangerous pollutant can be breathed by human or animals. The goal of the research is to know how much the affect of vehicle transportation in the Semarang's highway to the quality of ambient air.

The control of air pollution in the town in many aspects depend upon transportation aspect, even though other potential aspect may not be ignored. One of the most possible control methods that can be done is to make a direct management to traffic factor. An action as a management effort that considers the quantity of air pollution and then used as monitoring base is prediction model air pollution. The research used is descriptive that is to describe the relationship among many factors such as traffic, meteorological conditional and the emission of carbon monoxide and soft particle. Research location that has been chosen consist of three locations, they are Pandanaran Street, Imam Bonjol Street and Setiabudi Street.

From the evaluation of the emission of carbon monoxide (CO) and suspended particle matter (PM¹⁰) from vehicle in three street locations in Semarang, it can be known that the increase of vehicle's quantity will make vehicle's volume in the Pandanaran Street, Imam Bonjol Street and Setiabudi Street getting increase together with the increase of emission that furthermore will cause pollutant concentration of CO and PM¹⁰ in the ambient air larger, using Hiway-2TM model, it can be predicted CO concentration in the year of 2010 in each observed locations is that 9,022 ppm on Pandanaran Street, 5,169 ppm on the Imam Bonjol Street, and 8,313 ppm on the Setiabudi Street. CO concentration in the Pandanaran location in the year of 2010 will reach quality standard, Setiabudi location in the amount of 0,387 ppm whereas in the location of Imam Bonjol in that year has not yet exceed quality standard. PM¹⁰ concentration in the year 2010 will be produce numbers for Pandanaran Street 426 ug/m³, Imam Bonjol Street 225 ug/m³ and Setia budi 379 ug/m³. PM¹⁰ concentration in those three locations in the year of 2006 predicted has exceeded 24 hours - PM¹⁰ quality standard.

In order to overcome air pollution problem that happened in three locations mentioned above, it is needed an effort to make transportation system management, both improvement through policy or transportation device improvement. Especially for Setiabudi Street whose highly traffic's density, it is needed an alternatif solution by realizing Semarang - Solo highway development.

Key words : air pollution, Hiway - 2TM Simulation, Carbon monoxide and soft particle, traffic volume.

ABSTRAK

Kendaraan di Kota Semarang setiap tahunnya terus bertambah, jalan jalan semakin dipadati kendaraan, kemacetan lalu lintas menjadi pemandangan sehari hari, hal ini mengakibatkan kualitas lingkungan semakin menurun. Pencemaran udara akibat gas buang kendaraan tidak terhindarkan, kualitas udara semakin menurun. Karbon monoksida dan Partikel Halus adalah polutan yang di emisikan kendaraan bermotor ke udara ambient, polutan ini sangat berbahaya bila dihirup oleh manusia maupun hewan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh transportasi kendaraan bermotor di jalan raya Semarang terhadap kualitas udara ambient. Pengendalian pencemaran udara perkotaan dalam berbagai hal sangat tergantung pada aspek transportasi, walaupun aspek potensial lainnya tidak diabaikan. Salah satu metoda pengendalian yang paling memungkinkan dilakukan adalah dengan melakukan pengelolaan langsung terhadap faktor lalu lintas.

Tindakan yang merupakan upaya pengelolaan yang memperhitungkan besarnya pencemaran udara dan digunakan sebagai landasan pemantauan adalah model prediksi polusi udara. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif yaitu menggambarkan keterkaitan antara faktor lalu lintas, kondisi meteorologi dan emisi karbon monoksida dan partikel halus. Lokasi penelitian yang dipilih tiga lokasi yaitu Jalan Pandanaran, Jalan Imam Bonjol dan Jalan Setiabudi.

Dari hasil evaluasi emisi karbon monoksida (CO) dan partikel halus (PM¹⁰) dari kendaraan bermotor di tiga lokasi ruas jalan kota Semarang, dapat diketahui bahwa pertambahan jumlah kendaraan akan membuat volume kendaraan di ruas jalan Pandanaran, Imam Bonjol dan Setiabudi semakin meningkat seiring dengan itu emisi gas buang juga semakin besar yang kemudian mengakibatkan konsentrasi polutan CO dan PM¹⁰ di udara ambient semakin besar, dengan menggunakan model Hiway-2TM diprediksi konsentrasi CO pada tahun 2010 di tiap lokasi pengamatan adalah Jalan Pandanaran 9,022 ppm, Jalan Imam Bonjol 5,169 ppm dan Jalan Setiabudi 8,313 ppm. Konsentrasi CO di lokasi Pandanaran pada tahun 2010 telah melampaui baku mutu, lokasi Setiabudi terpaut 0,387 ppm sedangkan lokasi Imam Bonjol pada tahun tersebut belum melampaui baku mutu. Konsentrasi PM¹⁰ pada tahun 2010 diperoleh angka untuk jalan Pandanaran 426 ug/m³, jalan Imam Bonjol 225 ug/m³ dan jalan Setiabudi 379 ug/m³. Konsentrasi PM¹⁰ di ke -3 lokasi pada tahun 2006 diprediksi telah melampaui baku mutu PM¹⁰ 24 jam.

Dalam mengatasi permasalahan pencemaran udara yang terjadi pada ketiga ruas jalan tersebut diatas perlu diupayakan pengelolaan system transportasi, baik itu perbaikan melalui kebijakan maupun perbaikan prasarana transportasi. Khusus pada jalan Setiabudi dengan kondisi kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi diperlukan alternatif penanganan dengan merealisasikan pembangunan jalan tol Semarang – Solo.

Kata kunci : Pencemaran udara, Simulasi Hiway-2TM, Karbon Monoksida dan Partikel Halus, Volume lalu lintas.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lebih dari 500 juta mobil dan kendaraan umum kini memadati jalan jalan di dunia, 10 kali lebih lipat jumlah pada 1950. Menurut proyeksi terbaru, jumlah kendaraan di dunia akan berlipat dua dalam 40 tahun mendatang, sampai kira-kira satu miliar. Kebanyakan pertambahan ini akan terjadi di negara-negara berkembang, yang permintaan kendaraan bermotor diperkirakan meningkat 200 persen di akhir abad ini dan akan berakibat memperburuk masalah pencemaran udara saat ini, terutama diperkotaan.

Kota kota besar di Indonesia sebagai negara berkembang tidak terlepas dari permasalahan transportasi. Permasalahan transportasi merupakan dampak turunan dari pertumbuhan populasi penduduk. Bila suatu populasi perkotaan mengalami pertumbuhan penduduk dengan cepat maka secara linier terjadi peningkatan jumlah kendaraan (World Bank, 1997 dalam Isnaeni, 2000).

Kenaikan jumlah kendaraan bermotor di DKI diperkirakan 11% tiap tahun, sementara itu pertambahan jalan hanya bertambah 4%. Di Semarang pertumbuhan kendaraan bermotor juga amat pesat. Menurut penelitian yang dilakukan sebuah konsultan di empat gerbang masuk kota Semarang yaitu Srandol, Pedurungan, Genuk dan Tugu pada tahun 1992 menunjukkan rata rata pertumbuhan kendaraan bermotor mencapai 17%.

Penelitian UNEP yang menemukan Jakarta sebagai kota yang udaranya tercemar ketiga setelah Mexikco City dan Bangkok, menyimpulkan bahwa 70% gas beracun di udara berasal dari kendaraan bermotor. Hasil penelitian yang dilakukan oleh BAPEDAL di 5 (lima) kota besar di Indonesia seperti Jakarta, Bandung, Semarang, Medan dan Surabaya menunjukkan bahwa sektor transportasi merupakan penyumbang terbesar (83 %) bagi

tingkatan pencemaran udara baik lokal maupun regional. Tingkat pencemaran udara di kota Semarang sebagaimana dinyatakan oleh Direktur Pengendalian Pencemaran Udara Bapedal menduduki rangking 3 setelah Jakarta dan Bandung (Suara Merdeka 13 Maret 1996 dalam Sudharto P Hadi, 1996).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Lembaga Pengabdian Masyarakat ITB pada tahun 1992 besarnya kontribusi emisi sektor transportasi tidak saja ditentukan oleh volume lalu lintas dan jumlah kendaraan tetapi oleh pola lalu lintas dan sirkulasi dalam kota, khususnya di daerah-daerah pusat kota. Emisi gas buang kendaraan bermotor yang lancar (lancar) dibanding dengan yang dalam kondisi jalan macet mempunyai perbedaan 12 kali lipat (Bambang Susantono, Media 2002). Di kota Semarang sektor transportasi mengemisikan karbon monoksida (CO) 50108,7 ton per tahun dan debu 1121,1 ton per tahun.

Isu terpenting bagi kota-kota yang mempunyai tingkat pencemaran udara yang tinggi adalah penurunan derajat kesehatan masyarakat perkotaan sendiri. Pemaparan CO pada konsentrasi tinggi pada manusia dapat mengakibatkan gangguan penglihatan dan kesadaran, merusak kontrol syaraf, merusak fungsi jantung dan bahkan dapat mengakibatkan kematian. Sedangkan partikel-partikel halus dapat menyebabkan penyakit saluran pernafasan dan beresiko kematian. Transportasi secara langsung berdampak pada angka kematian manusia dan kesehatan. Dampak transportasi diperkirakan mengakibatkan 3500 angka kematian setiap tahun, dan ribuan lebih mati secara prematur dalam kaitannya dengan polusi udara di Britania Raya (Banister Et Al., 2000)

Pengendalian pencemaran udara perkotaan dalam berbagai hal sangat tergantung pada aspek transportasi, walaupun aspek potensial lainnya tidak diabaikan. Salah satu metoda pengendalian yang paling memungkinkan dilakukan adalah dengan melakukan pengelolaan langsung terhadap faktor lalu lintas. Tindakan yang merupakan upaya pengelolaan yang memperhitungkan besarnya pencemaran udara dan digunakan sebagai landasan pemantauan

memperhitungkan besarnya pencemaran udara dan digunakan sebagai landasan pemantauan adalah model prediksi polusi udara.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan belatar belakang tersebut maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Pertambahan jumlah kendaraan di kota Semarang menyebabkan tingkat kerapatan lalu lintas di ruas jalan Pandanaran, Imam Bonjol dan Setiabudi semakin meningkat, yang juga mengakibatkan peningkatan konsentrasi pencemar di 3 ruas jalan tersebut.
2. Belum ada model prediksi pencemaran udara khususnya di ruas jalan Pandanaran, Imam Bonjol dan Setiabudi.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengevaluasi laju emisi karbon monoksida (CO) dan Partikulat Halus (PM¹⁰) di 3 ruas jalan kota Semarang berdasarkan tingkat kerapatan kendaraan secara kontinu dalam 24 jam.
2. Untuk memprediksi konsentrasi CO dan PM¹⁰ di udara ambien yang ditimbulkan oleh aktivitas lalu lintas kendaraan bermotor khususnya akibat penggunaan bahan bakar fosil pada lokasi pengamatan dengan menggunakan simulasi model Hiway-2TM

1.4 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi instansi pemerintah terkait guna menentukan kebijakan transportasi dalam rangka perbaikan lingkungan khususnya pencemaran udara akibat kendaraan bermotor terutama terhadap perkembangan jalan, dan juga diharapkan dapat digunakan pihak Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah,

khususnya Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah dalam hal memprediksi kualitas udara baik pada jalan yang sudah beroperasi maupun untuk perencanaan jalan baru.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

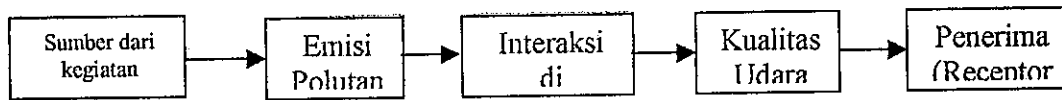
2.1. Pengertian Pencemaran Udara

Definisi yang dikemukakan oleh Steinfeld, (1986) menyebutkan yang dimaksud dengan pencemaran udara adalah “suatu kondisi atmosferik dimana berbagai substansi yang terdapat didalamnya memiliki konsentrasi yang cukup tinggi diatas batas normal ambiennya hingga menghasilkan efek-efek yang dapat terukur pada manusia, hewan, tumbuhan atau mineral yang ada”. Nevers, (1995) memberikan definisi yang lebih singkat mengenai pencemaran udara yaitu “adanya / hadirnya bahan – bahan yang tidak diinginkan di udara, dalam jumlah cukup besar dapat menimbulkan pengaruh yang membahayakan”.

Menurut BAPEDAL (1998) definisi pencemaran udara dapat diartikan sebagai “hadirnya kontaminan atmosfer seperti gas, cairan atau limbah serta produk samping dalam konsentrasi dan durasi yang sedemikian rupa sehingga menciptakan gangguan, kerugian atau memiliki potensi merugikan terhadap kesehatan / kehidupan manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan atau benda dan atau menciptakan ketidaknyamanan”.

Pencemaran Udara dapat diartikan sebagai adanya bahan atau zat-zat asing di udara dalam jumlah yang dapat menyebabkan perubahan komposisi atmosfer normal. Arti lain pencemaran udara adalah keadaan dimana ke dalam atmosfer di bebaskan satu atau beberapa bahan atau zat-zat dalam kuantitas maupun batas waktu tertentu oleh suatu sumber baik melalui aktivitas manusia maupun alamiah yang secara karakteristik dapat atau memiliki kecenderungan dapat menimbulkan ketimpangan susunan udara atau atmosfer yang secara ekologis sehingga mampu menimbulkan gangguan gangguan bagi kehidupan satu atau kelompok organisme maupun benda-benda.

Secara sederhana, proses pencampuran polutan dengan udara atmosfer dapat dilihat pada gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Skema Pencampuran Polutan ke Atmosfer
 Sumber : Rifky Kurniawan. 2002

Udara sebagai suatu komponen lingkungan hidup memiliki kesamaan dengan komponen lingkungan hidup lainnya, tetapi juga mempunyai sifat kekhususan yaitu dalam hal mobilitas yang tinggi. Menurut Budiraharjo (1998), secara singkat udara perlu mendapatkan perhatian mengingat :

1. Terbatasnya kemampuan udara dalam menerima, menetralkan, dan mendaur ulang akibat masuknya unsur pencemar (polutan).
2. Menurunnya kemampuan fungsi udara akan memberi dampak negatif besar dan meluas terhadap kesehatan, lingkungan, kegiatan perekonomian, dan pembangunan.
3. Penurunan kualitas udara akan mengakibatkan kebutuhan pembiayaan yang cukup besar untuk memulihkannya.

2.1.1. Komposisi Udara di Atmosfer

Telah menjadi suatu kenyataan bahwa kualitas udara di daerah perkotaan lebih tercemar dibandingkan daerah-daerah seperti pedesaan, hutan, pegunungan, dan lainnya yang masih alami sifat aktivitasnya. Kegiatan manusia merupakan penyebab utama adanya perbedaan kualitas udara. Di kota-kota besar sumber antropogenik sangat tinggi intensitas dan jenisnya bila dibandingkan dengan daerah pedesaan. Dalam hal ini pencemar antropogenik akan terus bertambah baik jenis maupun jumlahnya.

Dalam keadaan bersih dan kering, lapisan atmosfer terdiri dari berbagai komposisi dan unsur gas seperti yang terdapat pada tabel 2.1 berikut ini :

**Tabel 2.1 Konsentrasi Gas-gas Dalam Atmosfer
Pada Udara Kering dan Bersih**

Gas	ppm	% Volume
Nitrogen (N ₂)	780.9000	78.0900000
Oksigen (O ₂)	209.4000	20.9400000
Argon (Ar)	9.3000	0.9300000
Karbon Dioksida (CO ₂)	318.0000	0.0318000
Neon (Ne)	18.0000	0.0018000
Helium (He)	5.2000	0.0005200
Kripton (Kr)	1.0000	0.0001000
Xenon (Xe)	0.0800	0.0000080
Nitrogen Oksida (NO)	0.2500	0.0000250
Hidrogen (H)	0.5000	0.0000500
Methana (CH ₄)	1.5000	0.0001500
Nitrogen Dioksida (NO ₂)	0.0010	0.0000001
Ozon (O ₃)	0.0200	0.0000020
Sulfur Dioksida (SO ₂)	0.0002	0.0000002
Karbon Monoksida (CO)	0.1000	0.0000100
Amonia (NH ₃)	0.0100	0.0000010

Sumber : Perkins C. H., 1974

Seperti yang tertera pada tabel di atas, banyak senyawa diketahui sebagai pencemar udara seperti NO₂, SO₂, NH₃, CO, O₃, walaupun unsur-unsur pokok itu adalah merupakan sekian banyak unsur udara bersih. Dalam keadaan kering dan bersih konsentrasi gas tersebut sangat rendah dan tidak berbahaya, akan tetapi dalam keadaan udara tercemar konsentrasi gas tersebut meningkat dan berpengaruh buruk bagi lingkungan dan kesehatan manusia.

2.1.2. Pencemar Udara dan Sumbernya

Menurut Slamet Riyadi (1983) berdasarkan asal mula dan kelanjutan perkembangan zat pencemarnya, pencemar udara dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu :

1. Pencemar primer

Pencemar primer adalah semua pencemar yang berbeda di udara dalam bentuk yang hampir tidak berubah, seperti saat ia dibebaskan dari sumber sebagai hasil suatu proses tertentu. Umumnya berasal dari sumber-sumber yang diakibatkan oleh aktivitas manusia misalnya : kegiatan industri, transportasi, dan lain-lain. Contoh dari pencemar primer antara lain : SO₂, CO, NO_x, dan CH₄.

2. Pencemar Sekunder

Pencemar sekunder adalah merupakan hasil reaksi antara pencemar primer dengan pencemar lain yang ada di dalam udara. Reaksi yang dimaksud antara lain adalah reaksi fotokimia dan reaksi oksida katalis, termasuk dalam kategori ini adalah O₃ dan Peroksiasetil Nitrat (PAN).

Berdasarkan jenis kegiatannya, sumber pencemaran udara dikelompokkan menjadi :

1. Sumber transportasi yang meliputi kendaraan bermotor, jalan raya pada penggunaan bahan bakar, pesawat udara, kereta api, kapal laut,
2. Penanganan minyak dan kehilangan akibat penguapan,
3. Sumber tetap pada pembakaran bahan bakar yang meliputi pemakaian bahan bakar di rumah tangga, industri, komersial, perkantoran, pembangkit listrik;
4. Emisi dan kebocoran proses industri yang meliputi industri-industri proses kimia, makanan dan pertanian, metalurgi, produk mineral dan penyulingan minyak;
5. Pembuangan limbah padat yang meliputi incinerator kota serta pembakaran terbuka dan
6. lain-lain yang meliputi kebakaran hutan, kebakaran bangunan, pembakaran sisa batubara, pembakaran dari lahan pertanian dan lain-lain.

Dari kesemuanya itu yang memberi sumbangan penting pada pencemaran udara di kota-kota besar adalah sektor transportasi terutama kendaraan bermotor (Soedomo, et al 1992).

Dalam memperkirakan dan menilai dampak yang timbul terhadap lingkungan udara, sumber (rencana kegiatan) umumnya dikelompokkan dalam beberapa golongan

1. Sumber titik, yang termasuk di dalam kelompok ini adalah titik cerobong asap industri, misalnya emisi SO_x dari cerobong pembangkit listrik
2. Sumber garis, yang merupakan integrasi dari sumber-sumber titik yang tak terhitung banyaknya, sehingga dapat dianggap menjadi sumber garis yang seluruhnya memancarkan

pencemar udara (contohnya adalah kendaraan di jalan raya yang mengemisikan CO, HC, NO_x, Partikulat, SO_x).

3. Sumber area, yang sebenarnya merupakan integrasi dari banyak sumber titik dan sumber garis, contohnya adalah aglomerasi industri yang sejenis, daerah penimbunan sampah, dst-nya.

2.1.3. Dampak dari Pencemaran Udara

Pencemaran udara tidak mengenal batas-batas politik atau geografis, misalnya perjalanan partikel-partikel yang berasal dari kebakaran hutan di Indonesia telah membawa dampak terhadap kualitas udara di negara-negara tetangga terdekat bahkan menjangkau lebih jauh lagi. Kegiatan manusia menimbulkan dampak yang sama dengan yang disebabkan oleh proses alami, dan bahkan mereka sekarang mampu mempengaruhi sistem penopang kehidupan global. Pencemaran yang disebabkan belerang dan nitrogen, bukan lagi masalah perkotaan saja. Hujan asam yang diciptakan oleh pencemaran semacam itu berpengaruh pada wilayah yang lebih luas lagi.

Di Indonesia, pencemaran udara merupakan masalah besar terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, Semarang dan Surabaya, dimana kendaraan bermotor (transportasi) merupakan penyumbang terbesar pencemaran disamping perumahan penduduk dan industri.

Pada dasarnya pencemaran udara berbentuk partikel (debu, aerosol, timah hitam) dan gas (CO, NO_x, SO_x, H₂S, Hidrokarbon). Udara yang tercemar dengan partikel dan gas ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya. Gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan iritasi pada mata dan kulit.

Perubahan kualitas udara akan berpengaruh pada kesehatan manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan serta benda-benda lainnya. Evers (1995), menyatakan bahwa dampak dari

pencemaran udara meliputi : gangguan bagi barang-barang properti seperti pelapukan atau korosi, gangguan kesehatan akibat paparan singkat dengan konsentrasi polutan rendah, serta gangguan pada penglihatan (*visibility*).

2.2. Pencemaran Udara di Daerah Perkotaan

Studi-studi yang telah dilakukan menunjukkan sumber utama pencemaran udara adalah dari kendaraan bermotor (>70%) (BAPEDAL,1998) dengan parameter-parameter utama yaitu ; CO,NOx, SOx, Oksidan (Ozone, PAN, dan lain-lain), dan partikulat (debu). Dari keseluruhan total pencemar yang diemisikan oleh kendaraan bermotor yang tidak terkontrol kualitas gas buangnya 20-25% adalah berasal dari selimut mesinnya (*crankcase*), 60% dari knalpot (*exhaust*), serta sisanya dari penguapan tangki bahan bakar dan karburatornya. Selain itu ada juga yang disebabkan oleh berbagai jenis industri yang memang merupakan suatu sumber signifikan, namun sifatnya lebih spesifik untuk jenis parameter udara yang spesifik pula, misalnya partikulat silika dan amonia.

Hasil inventarisasi emisi pencemar di lima kota di Indonesia yaitu Jakarta, Surabaya, Bandung, Semarang dan Medan telah dilakukan oleh Lembaga Pengabdian Masyarakat ITB pada tahun 1992. Studi tersebut menunjukkan bahwa sektor transportasi merupakan sektor terbesar yang mengemisikan unsur-unsur pencemar udara. Besarnya kontribusi emisi sektor ini tidak saja ditentukan oleh volume lalu lintas dan jumlah kendaraan tetapi oleh pola lalu lintas dan sirkulasi dalam kota khususnya di daerah-daerah pusat kota dan perdagangan. Kemacetan lalu lintas yang sering terjadi di pusat kota dan perdagangan menyebabkan turunnya efisiensi bahan bakar. Hal ini disertai dengan tingkat emisi yang lebih besar terutama CO, HC, dan Debu. Pada tabel 2.2 dapat dilihat distribusi emisi pencemar udara di lima kota besar tersebut.

Tabel 2.2 Komposisi Emisi Pecemar Udara di Lima Kota Besar di Indonesia

Pencemar Udara	Total Ton Per tahun	Transportasi %	Permukiman %	Persampahan %	Industri %
Jakarta					
CO	378200.4	98.8	0.1	1.0	0.1
NOx	20964.7	73.4	9.6	1.1	15.9
Sox	28238.6	26.5	10.7	0.2	62.6
HC	15429.7	88.9	2.2	7.7	1.2
Debu	7382.0	44.1	33.0	8.4	14.6
Surabaya					
CO	54800.0	96.6	0.3	2.6	0.3
NOx	5650.0	33.6	21.5	1.7	43.2
Sox	16100.0	1.7	10.6	0.1	87.6
HC	3100.0	71.0	7.4	17.2	4.4
Debu	6225.6	12.6	51.2	51.2	27.7
Bandung					
CO	97300.0	97.4	0.1	2.4	0.1
NOx	2800.0	56.3	11.1	3.0	29.6
Sox	2092.5	12.6	18.8	0.7	68.0
HC	2270.0	78.5	2.2	17.5	1.8
Debu	1121.1	27.4	33.2	19.4	20.0
Semarang					
CO	50108.7	98.9	0.1	1.1	
NOx	2800.0	56.3	16.3	1.2	
Sox	2092.5	12.6	36.2	0.3	
HC	2270.0	78.5	40.0	8.4	
Debu	1121.1	27.4	51.1	7.6	
Medan					
CO	46381.1	99.8	0.2		
NOx	2925.3	76.1	23.9		
Sox	2030.1	49.0	51.0		
HC	7365.0	25.3	74.7		
Debu	1373.9	33.3	66.6		

Sumber : Soedomo, M; K. Usman dan M. Handayani. 1992

2.2.1. Konsumsi Bahan Bakar

Terdapat beberapa penelitian untuk mengembangkan model konsumsi bahan bakar di Indonesia, antara lain : PCI (1979), HDM-World Bank(1987), RUCM-Bina Marga (1992), LAPI-ITB(1996). Dari model-model tersebut, model LAPI-ITB merupakan salah satu model yang paling operasional untuk diaplikasikan dalam model jaringan jalan.

LAPI-ITB (1996) melakukan kalibrasi model konsumsi bahan bakar dengan menggunakan pendekatan *average speed model* yang menghasilkan persamaan dasar sebagai berikut :

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = Bf \{1 \pm (kk) + kl + kr\} \dots \dots \dots 2.1$$

keterangan :

Bf adalah konsumsi bahan bakar dasar dalam liter/1000km,

kk adalah faktor koreksi akibat kelandaian,

kl adalah faktor koreksi akibat kondisi lalulintas, dan

kr adalah faktor koreksi akibat kekasaran jalan (*roughness*).

Untuk setiap golongan kendaraan, konsumsi bahan bakar dasar (*Bf*) diberikan sebagai berikut :

$$Bf \text{ (Gol.I)} = 0.0284 v^2 - 3.06 v + 141.68 \quad (2.1.a)$$

$$Bf \text{ (Gol.II)} = 2.26533 \times Bf \text{ (Gol.I)} \quad (2.1.b)$$

$$Bf \text{ (Gol.IIB)} = 2.90805 \times Bf \text{ (Gol.I)} \quad (2.1.c)$$

Keterangan :

Golongan I meliputi : Sedan, jeep, pick up, bus kecil, truk (3/4), dan bus sedang

Golongan IIA : Truk besar dan bus besar, dengan 2 gandar

dan Golongan IIB : truk besar dan bus besar, dengan 3 gandar atau lebih

Kendaraan Gol.I, Gol.IIA, dan Gol.IIB sesuai dengan penggolongan kendaraan yang dilakukan oleh PT Jasa Marga dalam pentarifan kendaraan yang melalui jalan tol.

Sedangkan koreksi konsumsi bahan bakar kendaraan untuk setiap faktor yang diperhitungkan pada persamaan (2.1) diberikan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Faktor Koreksi Konsumsi Bahan bakar Dasar Kendaraan

Faktor Koreksi	Keterangan	Batasan Kondisi	Koreksi
Koreksi kelandaian Negatif (<i>kk</i>)	g =kelandaian (gradient)	$g < -5\%$	- 0.337
		$-5\% \leq g < 0\%$	- 0.158
Koreksi kelandaian Positif (<i>kk</i>)	g =kelandaian (gradien)	$0 \leq g < 5\%$	0.400
		$g \geq 5\%$	0.820
Koreksi lalulintas (<i>kl</i>)	vc = volume per capacity rasio	$0 \leq vc < 0.6$	0.050
		$0.6 \leq vc \leq 0.8$	0.185
		$vc \geq 0.8$	0.253
Koreksi kekasaran (<i>kr</i>)	r =roughness	$r < 3m/km$	0.035
		$r \geq 3m/km$	0.085

Sumber : LAPI – ITB (1996)

2.2.2. Emisi Kendaraan Bermotor

Pencemaran yang diemisikan oleh kendaraan bermotor dapat dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama meliputi semua unsur dan atau senyawa yang semestinya bukan terjadi akibat pembakaran mesin, seperti Timbal (Pb) dan Sulfur (S) yang dapat dihilangkan langsung dari bahan bakarnya, sedangkan kelompok kedua terdiri atas produk-produk pembakaran dari segala bentuk proses pembakaran, seperti CO, NO_x, HC dan partikulat sebagai senyawa-senyawa utama (Tresna, 1991).

Emisi gas buang seperti HC, NO_x, dan CO dapat dikurangi dengan pengendalian yang berhubungan dengan rancangan mesin dan kondisi operasi. Disamping itu komposisi, distribusi dan penyediaan atau pemakaian jenis bahan bakar tentunya merupakan faktor yang penting.

Estimasi emisi gas buang dapat dilakukan dengan mengalikan konsumsi bahan bakar dengan nilai faktor emisi dalam satuan gram/liter. Faktor emisi yang digunakan dari PPE-ITB (1995) disajikan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Nilai Faktor emisi (gr/lit) untuk Beberapa Jenis Kendaraan

No.	Jenis Kendaraan	CO		NO _x		HC		SO ₂		SPM	
		Bensin	Solar	Bensin	Solar	Bensin	Solar	Bensin	Solar	Bensin	Solar
1.	Kendaraan Penumpang										
a.	< 1600 cc	195.05	53.05	57.02	10.46	18.51	4.07	0	4.90	-	-
b.	> 1600 cc	152.75	0	44.66	8.19	14.50	3.19	0	3.84	-	-
2.	Jeep/St. Wagon/Ambulans										
a.	< 1600 cc	318.78	44.16	70.38	12.28	30.26	4.23	0	5.64	-	-
b.	> 1600 cc	248.40	39.90	54.84	11.10	23.58	3.83	0	5.10	-	-
3.	Pick-Up										
a.	< 1600 cc	347.76	42.03	76.78	11.69	33.01	4.03	0	5.37	-	-
b.	> 1600 cc	372.60	45.75	82.26	12.73	35.37	4.39	0	5.85	-	-
4.	Truk	N/A	14.81	N/A	63.13	N/A	9.32	N/A	5.02	N/A	2.12
5.	Minibus										
a.	Pribadi	389.16	48.94	85.92	13.62	36.94	4.69	0	6.26	-	-
b.	Umum	322.92	38.30	71.29	10.66	30.65	3.67	0	4.90	-	-
6.	Mikrobus	N/A	13.62	N/A	55.12	N/A	8.32	N/A	4.56	N/A	1.96
7.	Bus	N/A	10.28	N/A	41.60	N/A	6.28	N/A	3.44	N/A	1.48

Sumber : Pusat Penelitian Energi-ITB. 1995; N/A : not available

2.2.3. Pengelolaan Gas Buang dan Partikulat Sumber Bergerak

Kendaraan bermotor yang menjadi alat transportasi, dalam konteks pencemaran udara dikelompokkan sebagai sumber yang bergerak. Dengan karakteristik yang demikian, penyebaran pencemar yang diemisikan dari sumber-sumber kendaraan bermotor ini akan mempunyai pola penyebaran spasial yang meluas. Oleh karena itu faktor perencanaan sistem transportasi akan sangat mempengaruhi penyebaran pencemaran yang di emisikan serta mengikuti jalur-jalur transportasi yang direncanakan.

a. Sektor Transportasi Perkotaan

Terdapat tiga aspek utama yang menentukan intensitas dampak terhadap lingkungan, khususnya pencemaran udara di daerah perkotaan, yaitu :

1. Aspek perencanaan transportasi (barang dan manusia)
2. Aspek rekayasa transportasi meliputi pola aliran moda transportasi lainnya
3. Aspek teknik mesin dan sumber energi (bahan bakar) alat transportasi.

Pengendalian pencemaran udara perkotaan mempunyai implikasi yang luas, mencakup aspek perencanaan sistem transportasi, sarana dan alat transportasi.

Faktor penting yang menyebabkan dominannya pengaruh sektor transportasi terhadap pencemaran udara perkotaan di Indonesia antara lain meliputi :

1. Perkembangan jumlah kendaraan yang cepat
2. Tidak seimbangnya prasarana transportasi dengan jumlah kendaraan yang ada
3. Pola lalu lintas perkotaan yang berorientasi memusat, akibat terpusatnya kegiatan-kegiatan perekonomian dan perkantoran di pusat kota
4. Masalah turunan akibat pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang ada, misalnya daerah permukiman penduduk yang semakin menjauhi pusat kota
5. Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor
6. Jenis bahan bakar yang digunakan
7. Jenis permukaan jalan

b. Pola Berkendara

Pola berkendara merupakan salah satu faktor transportasi penting yang akan secara langsung mempengaruhi jumlah dan intensitas emisi pencemar udara yang dilepaskan oleh kendaraan bermotor ke atmosfer. Faktor ini merupakan produk langsung dari jenis kendaraan bermotor dan rekayasa motor bakar yang digunakan dengan pola dan sistem transportasi yang berlaku. Selain itu, dalam banyak hal, pola berkendara sangat ditentukan ditentukan pula oleh latar belakang tingkat sosial-ekonomi.

Pola berkendara dan kecepatan yang konstan akan sangat mempengaruhi pelepasan senyawa senyawa pencemar tersebut. Pola berkendara yang ditandai dengan banyak diam (idle) akan mengeluarkan pencemar yang lebih banyak dibandingkan dengan pola berkendara yang berjalan dengan kecepatan stabil (Soedomo, 2001). Emisi gas buang kendaraan bermotor yang lambat (lancar) dibandingkan dengan kondisi jalan macet

mempunyai perbedaan 12 kali lipat (Bambang Susantono, Media, 2002). Dalam keadaan ini proses pembakaran yang berlangsung kurang sempurna, sehingga rasio udara mengecil. Kebutuhan bahan bakar akan bertambah, namun dalam sistem pembakaran yang kurang sempurna. Akibatnya, kadar pencemar yang keluar akan semakin besar, terutama yang berasal dari bahan bakar sendiri seperti CO, HC, dan NO_x. Tingkat konsentrasi emisi gas buang yang dihasilkan melalui proses reaksi pembakaran yang terjadi di dalam mesin kendaraan baik pada mesin diesel maupun bensin dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Konsentrasi emisi gas buang berdasarkan moda pengoperasian

Bahan Bakar Dan Polutan	Emisi gas buang (ppm)			
	Idle	Percepatan	Jelajah	Perlambatan
Bensin				
CO	69.000	29.000	29.000	39.000
HC	5.300	1.600	1.600	10.000
NO _x	30	1.020	1.020	20
Diesel				
CO	Trace	1000	Trace	Trace
HC	400	200	100	300
NO _x	60	350	240	30

Sumber : Colls, J., 2002.

Pola berkendara perkotaan pada dasarnya ditandai dengan pola diam dan bergerak cukup banyak. Beberapa negara telah mengeluarkan pola berkendaraannya masing masing seperti US, Jepang, EEC. Indonesia sampai saat ini belum memiliki pola berkendara baku yang digunakan untuk pengujian kendaraan bermotor.

c. Pengendalian pencemaran udara akibat kendaraan bermotor

Pengendalian pencemaran udara akibat kendaraan bermotor, pada dasarnya merupakan salah satu bagian dalam pengendalian pencemaran udara akibat sistem dan sarana

transportasi. Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemar yang terkait dengan sistem dan sarana transportasi.

Dasar dalam penetapan kebijakan pengendalian pencemaran udara pada dasarnya mencakup banyak pertimbangan, baik dalam aspek teknik dan teknologi pengendaliannya sendiri, maupun aspek ekonomi dan sosial yang akan terkait dengan strategi pengendalian dan teknologi pengendalian yang diterapkan.

Aspek kelembagaan dalam pelaksanaan strategi tersebut menjadi pertimbangan dasar lainnya, meliputi bentuk kelembagaan, mekanisme dan pelaksanaan operasional. Selain itu perlu pula dipertimbangkan bahwa masalah pencemaran udara perkotaan merupakan masalah yang melibatkan berbagai sektor dalam kegiatan perkotaan yang ada dalam penerapan dan pelaksanaan suatu strategi penanggulangan masalah pencemaran udara, yaitu bahwa suatu program penanggulangan yang terpadu dan komprehensif perlu dilakukan.

Kendaraan bermotor adalah sumber langsung yang mengemisikan pencemar ke atmosfer, sedangkan jumlah trip dan kendaraan per kilometer menentukan besarnya emisi.

Pengendalian pencemaran akibat kendaraan bermotor akan mencakup upaya-upaya pengendalian baik langsung maupun tidak langsung, yang dapat menurunkan tingkat emisi dari kendaraan bermotor secara efektif. Dua pendekatan strategis yang mungkin diterapkan adalah :

1. Penurunan laju emisi pencemar dari setiap kendaraan untuk setiap kilometer jalan yang ditempuh, atau,
2. Penurunan jumlah dan kepadatan total kendaraan di dalam suatu daerah tertentu.

2.3. Zat Pencemar Gas Karbon Monoksida (CO)

Penyebab utama dari berbagai macam pencemaran udara adalah pembakaran yang sangat esensial bagi manusia. Bila pembakaran berlangsung sempurna, hidrogen dan karbon

dalam bahan bakar akan bergabung dengan oksigen dari udara untuk menghasilkan energi, karbon dioksida, dan uap air. Meskipun demikian, adanya *impurities* dalam bahan bakar, rasio bahan bakar terhadap udara (A/F rasio) yang buruk, temperatur pembakaran yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah menyebabkan terbentuknya berbagai produk samping, salah satunya adalah karbon monoksida (CO).

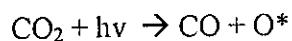
Karbon Monoksida (CO) adalah gas tidak berwarna dan tidak berbau, dan relatif stabil (inert) dengan waktu tinggal di atmosfer sekitar 2 – 4 bulan [Warner, 1981]. Gas CO akan berubah menjadi CO₂ di atmosfer dengan laju reaksi yang sangat lambat. Senyawa CO hadir di atmosfer sebagai hasil reaksi oksidasi metana (CH₄) oleh radikal hidroksil. Lebih kurang dua pertiga (2/3) dari total CO berasal dari Metana (hidrokarbon tunggal) yang paling banyak dilepaskan ke atmosfer dari berbagai sumber.

Karbon Monoksida dihasilkan dari pembakaran material yang mengandung karbon seperti bensin, gas alam, batu bara, kayu dan sebagainya. Karbon Monoksida merupakan produk yang tidak diinginkan dalam proses pembakaran. Ia diproduksi dalam proses pembakaran dalam oksigen dibawah kondisi jenuh yang melibatkan senyawa karbon. Sehingga jumlah Karbon Monoksida yang dihasilkan terutama tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara serta tingkat pencampuran. Karbon Monoksida dihasilkan terutama dari pembakaran bahan bakar minyak kendaraan bermotor (BMZ, 1995 dalam Sofyan, 2001).

Gas CO merupakan pencemar udara yang paling umum dan luas distribusinya. Emisi total CO ke atmosfer melebihi jumlah emisi total gas pencemar lainnya. Di samping sumber alami dan industri yang berperan pada kontribusi konsentrasi ambien CO, sumber kendaraan (terutama mesin yang memanfaatkan tenaga bensin) terhitung sebagai penyumbang karbon monoksida pada umumnya di atmosfer. Pada tahun 1990 saja, kurang lebih 177 juta ton gas ini diemisikan ke atmosfer dari berbagai aktivitas manusia. Secara global, emisi CO meningkat

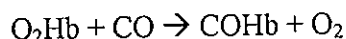
setiap tahunnya sebesar 40 sampai 52 juta ton, sebagian besar disebabkan oleh lalu lintas kendaraan bermotor [Tolba, 1992]

Karbon monoksida dapat juga berasal dari reaksi fotodisosiasi CO₂ oleh sinar ultraviolet (UV).



Seperti halnya Oksigen, gas CO dengan mudah terikat pada hemoglobin, protein darah yang bertanggung jawab terhadap transportasi oksigen ke seluruh tubuh. Pemaparan CO pada konsentrasi tinggi dapat membahayakan nyawa manusia karena gas ini mereduksi kemampuan hemoglobin dalam sel darah merah untuk mengikat oksigen (daya ikat hemoglobin terhadap CO 140 kali lebih kuat dibanding terhadap oksigen) dan karboksilhemoglobin jauh lebih stabil dibandingkan oksihemoglobin (Wisnu Arya Wardhana, 1995).

Molekul CO dapat menggantikan O₂ dalam haemoglobin untuk menghasilkan karboksilhaemoglobin dengan reaksi sebagai berikut :



Tabel 2.6 Konsentrasi CO di Udara, Hubungannya dengan Konsentrasi Hb dalam Darah

Konsentrasi CO (gr/ltr) Di atmosfer (ppm)	Keseimbangan HbCO dalam darah (%)	HbCO di dalam darah setelah paparan 30 menit (%)		HbCO di dalam darah setelah paparan 60 menit (%)	
Dx fewe30	4.8	0.27	0.99	0.54	1.98
50	8.0	0.45	1.65	0.90	3.30
125	20	1.12	4.12	2.24	8.24
250	40	2.25	8.24	4.50	16.48

Sumber : Watkins. 1991

Gejala yang terjadi pada manusia bila darah manusia mengandung HbCO adalah seperti terlihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Tanda Gejala Pada Berbagai Konsentrasi HbCO dalam Darah

% HbCO	Tanda dan Gejala pada Manusia
0 – 10	Tidak ada tanda atau gejala
10 – 20	Pusing ringan, terjadi dilatasi pada darah
20 – 30	Pusing
30 – 40	Pusing Berat, Badan lemah, tidak konsentrasi, pingsan
40 – 50	Sama dengan diatas, kemungkinan pingsan lebih besar, kecepatan pernafasan meningkat
50 – 60	Sinkop, kecepatan pernapasan meningkat
60 – 70	Koma, kegiatan jantung dan kecepatan pernapasan menurun, ada kemungkinan meninggal
70 – 80	Pernafasan lambat, hembusan nafas lemah, gagal bernafas dan meninggal dalam beberapa jam
80 – 90	Meninggal kurang dari 1 jam
90 +	Meninggal dalam beberapa menit.

Sumber : Watkins, 1991

Adanya muatan CO di udara berakibat penurunan kapasitas darah untuk mengikat oksigen. Kadar COHb dalam darah naik jika CO naik dan aktivitas fisik naik. Pemaparan yang berlebih sejumlah CO pada manusia dapat mengakibatkan pengrusakan penglihatan dan kesadaran, fungsi sistem kontrol syaraf turun serta fungsi jantung dan paru-paru menurun (perubahan kardiovaskular), bahkan pada konsentrasi yang ekstrim dapat menyebabkan kematian.

Tanah merupakan bahan yang dapat menghilangkan CO dari atmosfer. Kandungan CO dalam udara dapat dihilangkan dengan mengontakkannya dengan tanah. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa udara yang mengandung CO sebesar 120 ppm dapat dihilangkan selama 3 jam dengan cara mengontakkan dengan 2,8 Kg tanah [Human,1971]. Dari hasil penelitian diperoleh Laju pengambilan CO oleh tanah dan kadar CO awal di atmosfer sangat berkorelasi dengan faktor kemampuan tanah menyerap dan menyerap CO untuk selanjutnya dioksidasi menjadi gas CO₂ dan direduksi menjadi gas CH₄, dan karbon monoksida dimanfaatkan sebagai sumber karbon dan energi oleh mikroflora tanah [Sumarno,1999].

2.4. Partikel Halus (PM¹⁰)

Menurut Cooper dan Alley, 1994, yang dimaksud partikel halus atau partikulat atau suspended particulate matter (SPM) adalah padatan atau zat cair dengan diameter sangat kecil

yang tersuspensi dalam aliran gas dan terbang ke atmosfer. Sumber SPM terutama berasal dari 3 (tiga) proses utama yaitu :

- a. Penanganan material seperti proses crushing dan grinding pada kegiatan industri serta kegiatan bongkar muat material kering.
- b. Proses pembakaran yang mengemisikan partikel abu tak terbakar atau partikel dari pembakaran yang tidak sempurna.
- c. Pembentukan partikulat akibat reaksi kimia-fisika di atmosfer

Pengaruh partikulat terhadap lingkungan adalah berkurangnya jarak pandang (*visibility*) karena adanya asbut (*smog*) atau asap (*haze*), bangunan yang berdebu, kerusakan material akibat korosif dan erosi serta dampak yang buruk baik kondisi cuaca lokal. Partikulat juga berbahaya bagi kesehatan manusia dan binatang.

Partikulat yang berukuran halus merupakan salah satu penyebab berkurangnya jarak pandang di kawasan perkotaan. Partikulat yang mencemari udara ambien kawasan perkotaan telah terbukti dapat meningkatkan formasi fog yang persisten (Robinson, 1968 dalam Cooper dan Alley, 1994). Dampak yang lebih luas lagi adalah penghamburan energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi berakibat pada meningkatnya intensitas hujan dan salju.

Deposisi partikulat pada benda-benda luar rumah seperti monumen, bangunan akan mengurangi nilai estetika sehingga harus sering dibersihkan. Disamping itu deposisi hujan asam akan menyebabkan kerusakan bangunan akibat korosi.

Partikulat di udara ambien juga mengakibatkan meningkatnya kasus penyakit degeneratif pada manusia. Diduga partikulat mengandung bahan-bahan karsinogen yang dapat masuk ke dalam paru-paru hingga terakumulasi.

Menurut Wark dan Warner, (1981) proses pembakaran (*combustion*) akan menghasilkan 4 (empat) jenis partikulat yaitu :

- a. Proses pemanasan akan mengeluarkan partikulat dengan diameter antara 0.1 s.d. 1 μ m
- b. Proses kimiawi selama pembakaran akan menghasilkan partikulat sementara berupa kumpulan molekul - molekul nir-stabil dengan ukuran kurang dari 0.1 μ m
- c. Proses mekanis akan mengeluarkan abu atau partikel bahan bakar dengan diameter 1 μ m atau lebih.
- d. Pembakaran parsial dari bahan bakar yang bersumber fosil akan menghasilkan partikulat jelaga (*soot*).

2.5. Model Pencemaran Udara

2.5.1. Model Dispersi Polutan Menurut Gauss

a. Distribusi Gauss

Distribusi Normal atau Distribusi Gauss banyak digunakan sebagai fungsi distribusi dalam konteks pencemaran udara (Wark and Warner, 1981).

Dasar dari distribusi Gauss adalah suatu persamaan yang menyatakan bahwa variable x dapat terdistribusi normal jika densitas dari fungsi $f(x)$ memenuhi persamaan berikut ini :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.2)$$

Keterangan :

μ adalah nilai nyata tertentu

σ adalah nilai nyata yang besarnya lebih dari nol dan dikenal sebagai simpangan baku.

Persamaan distribusi Gauss (1) diatas disebut juga sebagai distribusi normal, dimana area dibawah kurva normal terdiri dari nilai-nilai yang homogen. Lancip dan melengkungnya bentuk kurva normal bergantung pada besar kecilnya nilai simpangan baku.

Dalam penerapan untuk dispersi polutan di udara ambien, biasanya digunakan distribusi Gauss berganda (*Double Gaussian Distribution*). Distribusi Gauss berganda ini di plot pada 2 (dua) arah koordinat yaitu y dan z sehingga persamaan menjadi

$$f(y,z) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp \left[-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (2.3)$$

Keterangan :

interpretasi terhadap nilai-nilai σ_y , σ_z , μ_y dan μ_z sama dengan interpretasi untuk persamaan distribusi tunggal.

b. Model Dispersi Gauss Untuk Sumber Diam

Model matematis untuk dispersi di atmosfer harus mampu membuat simulasi perilaku plume yang diemisikan baik dari sumber pada permukaan tanah ataupun dari sumber cerobong. Tinggi cerobong (H) dinyatakan sebagai tinggi fisik cerobong (h) ditambah dengan tinggi kenaikan plume (Δh).

Model tersebut berdasarkan pada difusi massa dari polutan pada arah y dan z yang dibawa oleh angin arah x dengan kecepatan u, model tersebut memerlukan beberapa asumsi yang diantaranya adalah difusi masa arah x yang tunak, kecepatan angin u yang konstan pada semua posisi, dan difusivitas yang konstan dari massa D_x , D_y , dan D_z . Untuk sumber titik, direpresentasikan sebagai $x=0$, dan tinggi sebagai H dengan demikian, konsentrasi sesuai arah angin dari suatu sumber titik adalah mengikuti formula :

$$C = Kx^{-1} \exp \left[-\left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \frac{u}{4x} \right] \quad (2.4)$$

Keterangan :

K adalah konstanta yang nilainya ditentukan oleh kondisi spesifik atmosfer setempat.

Untuk sumber titik pada ground level nilai K dapat dihitung sebagai berikut :

$$K = \frac{Q}{2\pi(D_y D_z)^{1/2}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

Q adalah kekuatan dari sumber emisi, yaitu massa yang diemisikan per satuan waktu. Dengan substitusi persamaan (2.5) ke persamaan (2.4), maka model dispersi dari sumber titik pada ground level adalah :

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi(D_y D_z)^{1/2}} \exp \left[- \left(\frac{y^2}{D_y} + \frac{z^2}{D_z} \right) \frac{u}{4x} \right] \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) adalah persamaan distribusi Gauss ganda seperti persamaan (2.3). Karena pada ground level, konsentrasi maksimum pada arah y dan z akan muncul sepanjang center line pada ground level, maka nilai μ_y dan μ_z pada persamaan (2.3) nilainya nol. Dengan demikian persamaan (2.3) menjadi :

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp \left[- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad (2.7)$$

$$\text{jika : } \sigma_y^2 = \frac{2D_y x}{u} \text{ dan } \sigma_z^2 = \frac{2D_z x}{u}$$

maka konsentrasi polutan pada ground level dari suatu sumber titik adalah :

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (2.8)$$

Jika persamaan (2.8) disusun sedemikian rupa sehingga sisi kiri menjadi $Cu2Q$ maka sisi kanan identik dengan format $f(y,z)$ seperti diuraikan diatas yaitu type Gauss Berganda. Konsentrasi polutan akan ditentukan oleh nilai-nilai Q, μ , σ_y dan σ_z . Jika besarnya C dinyatakan dalam mikrogram per meter kubik, maka besarnya Q dinyatakan dalam mikrogram per detik. Jika nilai y dan z dianggap nol, maka persamaan (2.8) direduksi menjadi:

$$C_{(x,0,0)} = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (2.9)$$

c. Model Dispersi Gauss untuk Sumber Garis

Sumber garis (line source) bisa berupa deretan industri di sepanjang pantai atau pinggiran sungai, atau juga disepanjang jalan yang dipadati kendaraan (Wark dan Warner, 1981). Permasalahan polusi udara dapat dimodelkan sebagai sumber garis yang terus-menerus (*continuous emitting infinite line source*). Jika arah angin berjalan normal pada garis emisi, maka ground level concentration searah arah angin dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_{(x,z)} = \frac{2q}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z u} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

Keterangan :

nilai q adalah kekuatan emisi per unit jarak. Sebagai contoh, nilai q bisa dinyatakan dalam g/detik meter.

H adalah ketinggian sumber emisi (m)

Standar deviasi horisontal σ_y tidak diikutsertakan dalam persamaan karena difusi angin berlawanan dari semua pengemisi menjadi saling mengimbangi. Demikian halnya dengan ketiadaan nilai y dari persamaan karena konsentrasi diasumsikan seragam pada arah y dan jarak x yang ditentukan. Jika arah angin tidak tegak lurus terhadap sumber garis, Turner menyarankan agar persamaan (9) diatas dibagi dengan $(\sin \Phi)$ dimana Φ adalah sudut antara sumber garis dengan arah angin. Koreksi ini tidak diperlukan jika besarnya kurang dari 45 derajat.

Model dispersi berperan penting sebagai pembantu dalam pengelolaan kualitas udara. Namun demikian secanggih apapun model yang dikembangkan sangat bergantung pada masukan (input) seperti faktor emisi, parameter lalu lintas, dan variabel meteorologi yang harus memadai.

2.5.2. Prediksi Konsentrasi Pencemar Udara dengan Hiway-2TM

Salah satu model dispersi pencemaran udara dari emisi kendaraan di jalan raya yang menggunakan prinsip **Gaussian plume model** adalah Hiway-2TM yang dikembangkan oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US-EPA) (Petersen, W. B., 1980)

Model ini dapat digunakan untuk memprediksi konsentrasi polutan-polutan yang non reaktif dari lalu lintas jalan raya. Model Gaussian ini dapat diaplikasikan untuk menentukan konsentrasi polusi udara di reseptor yang ditempatkan di beberapa lokasi. Model ini dapat digunakan untuk segala arah angin, berbagai kondisi jalan, dan lokasi reseptor (alat penerima). Model ini dikembangkan untuk situasi lokasi yang mempunyai aliran angin horishontal mendominasi. Model ini tidak mempertimbangkan atau memperhitungkan penghalang yang banyak atau dinding yang penghambat aliran angin seperti bangunan dan pohon yang tinggi.

Model ini menggambarkan rata-rata jumlah emisi dari seluruh kendaraan pada ruas jalan tertentu (section Q). Hal ini dikarenakan sulitnya menghitung satu persatu emisi yang dikeluarkan oleh setiap kendaraan bermotor. *Section* adalah panjang ruas jalan dengan cara membagi jalur lalu lintas menjadi bagian tunggal (*single part*) sehingga dapat dianggap sebagai sumber titik (*point source*) (Hangartner and Nabhol. 1998).

Model Hiway-2TM memerlukan input parameter berupa nilai emisi untuk setiap jalur (gr/m.det). Berdasarkan cara mengendara dan kategori yang berbeda-beda untuk setiap jenis kendaraan, maka faktor emisi untuk setiap kendaraan serta kecepatan melajunya harus ditentukan. Kuantitas emisi (Q) untuk sumber-sumber titik dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{EF_i \cdot VA_i}{10} \quad (2.11)$$

Keterangan :

Q = jumlah emisi untuk setiap jalur (*lane*)

EF_i = faktor emisi pada kecepatan tertentu suatu kendaraan i (gr/km/kend)

VA_i = jumlah kendaraan i setiap jalur (*lane*) setiap jam (kendaraan / jam)

i = jenis kendaraan

Selain kuantitas emisi, Hiway-2TM memerlukan input kecepatan angin, arah angin, kelas stabilitas Pasquill – Gifford, jumlah lane, lebar tiap lane, lebar jalan dan lebar dari centerline jalan dan koordinat reseptor.

Produk dari penggunaan model ini adalah konsentrasi rata-rata per-jam pada setiap reseptor tertentu.

2.5.3. Meteorologi Pencemaran Udara

Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari kedinamisan atmosfer. Faktor meteorologi yang sangat berperan dalam pencemaran udara adalah angin, temperatur, dan stabilitas atmosfer.

a. Angin

Angin adalah masa udara yang bergerak secara horizontal maupun vertikal dengan kecepatan yang bervariasi dan berfluktuasi secara dinamis. Pergerakan seluruh udara adalah kombinasi energi matahari, rotasi bumi, dan gravitasi bumi. Sangat sederhana, matahari menghangatkan tanah, dan tanah menghangatkan udara dan seterusnya. Udara hangat naik ke atas dan digantikan oleh udara dingin. Rotasi bumi menambah komplikasi pada kondisi ideal, contoh sirkulasi pergeseran. Pegunungan, lautan dan perkotaan menambah komplikasi lebih jauh, contoh menyebabkan angin lokal/setempat. Dispersi pencemaran udara tidak hanya terjadi karena adanya angin, tetapi ada beberapa faktor lain yang perlu dipahami yang mempengaruhi kualitas udara.

b. Arah dan Kecepatan Angin

Kecepatan angin pada umumnya meningkat sebanding dengan pertambahan ketinggian. Terdapat beberapa variasi ekspresi analisis profil kecepatan angin, diantaranya yang biasa digunakan yaitu :

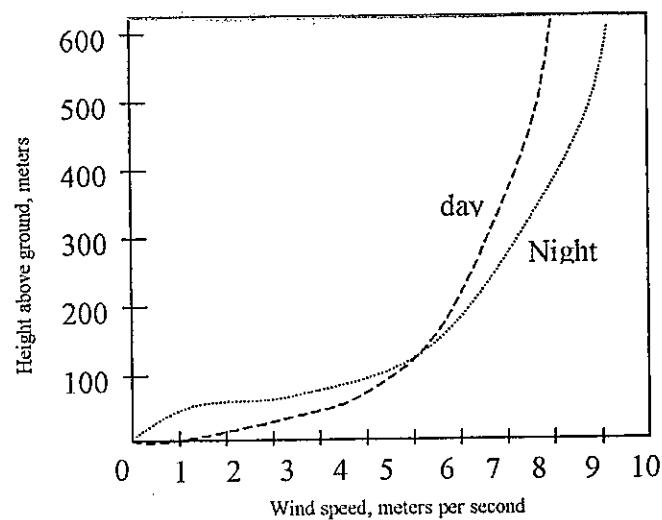
- Profil logaritmik,
- Profil log-linier
- Profil power law $u = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^p$

Dua yang pertama didasarkan pada fenomena fisik dan asumsi bahwa terjadi tegangan geser yang konstan terhadap elevasi. Profil power law didapat secara empirik dan sering digunakan dalam studi polusi udara karena dapat mewakili interval yang lebar. Variabel u_1 adalah data terukur dari kecepatan angin pada elevasi z_1 . Harga p (konstanta) tergantung kepada konfigurasi permukaan area studi dan stabilitas atmosfer di atasnya, seperti terlihat pada tabel 2.8

Tabel 2.8 Harga p untuk persamaan profil kecepatan angin power law.

Konfigurasi Permukaan	Stabilitas	p
• Daerah terbuka landai ^a	tidak stabil	0.11
	netral	0.14
	stabilitas sedang	0.20
		0.33
• Daerah terbuka datar, danau & lautan ^b	Netral	0.16
• Hutan kayu, kota & kota pinggir ^b	Netral	0.28
• Kota dan lokasi terbangun ^b	Netral	0.40

Sumber :
 a. Sutton, 1953
 b. Turner – HEW, 1969



Gambar 2.2 Perubahan profil kecepatan angin terhadap ketinggian (stabilitas) (HEW,1969)

Angin menyebabkan perpindahan polutan secara besar-besaran; konsentrasi polutan terlihat jelas lebih tinggi di daerah yang searah dengan angin dari sumber dibandingkan dengan arah berlawanan dari sumber. Oleh karena adanya difusi, konsentrasi menyebar pada satu arah dari garis tengah (arah mendasar dari pergerakan polutan terhadap angin). Selain arah angin, kecepatan angin merupakan hal penting, semakin tinggi kecepatan angin, pada umumnya konsentrasi polutan semakin rendah (efek pengenceran).

c. Stabilitas Atmosfer

Pancaran sinar matahari merupakan fluks energi dari matahari menuju permukaan bumi. Pancaran bervariasi harian (saat fajar, tengah hari, sore hari, malam hari), musiman (musim dingin, panas), secara geografi (kutub, khatulistiwa), dan pengaruh setempat (berawan, cerah). Semakin tinggi pancaran, maka lebih banyak energi yang mencapai permukaan. Energi tersebut akan diserap oleh tanah dan memanaskan permukaan, kecuali permukaan yang memiliki reflektivitas lebih besar (seperti es atau salju). Selanjutnya, lebih banyak energi panas dapat ditransfer ke dalam lapisan udara yang kontak dengan tanah. Udara panas ini cenderung naik dengan cepat dan dalam kasus ini, atmosfer dalam keadaan "unstable". Dari

sudut pandang kualitas udara, udara unstable adalah baik karena membantu menghilangkan polusi udara di sekitar tanah dimana manusia berada dengan menangkap dan membawanya, bercampur di udara bagian lebih atas dan mengencerkan polusi menjadi konsentrasi yang lebih rendah.

Stabilitas atmosfer merupakan metode untuk mengklasifikasikan kemampuan atmosfer untuk mengencerkan dan mencampur udara. Selain pancaran sinar matahari, metoda klasifikasi yang digunakan oleh EPA juga memasukkan kecepatan angin. Efek mekanik angin (pencampuran turbulen dan geseran angin) dapat mendominasi efek pencampuran panas (*thermal mixing effects*)

Tabel 2. 9 Kestabilan Atmosfir (Pasquill – Gifford)

Kecepatan Angin Permukaan ^a (m/dt)	Pancaran Sinar Matahari Siang Hari			Kondisi Awan Malam Hari	
	Kuat ^b	Kuat ^c	Kuat ^d		
<2	A	A – B ^f	B	E	F
2-3	A – B	B	C	E	F
3-5	B	B – C	C	D	E
5-6	C	C – D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Sumber : Turner, 1970

Catatan :

- Kecepatan angin permukaan diukur pada ketinggian 10 m dari tanah
- Kondisi siang hari cerah pada musim panas dengan matahari >60° diatas horizon
- Kondisi siang hari musim panas dengan sedikit awan atau siang hari cerah dengan matahari 35°- 36° di atas horizon
- Kondisi sore hari atau siang hari berawan musim panas atau siang hari cerah musim panas dengan matahari antara 150 – 350
- Kondisi awan didefenisikan sebagai fraksi langit tertutup awan
- Untuk kondisi A-B, B-C, atau C-D rata rata nilai berlaku untuk masing-masing :

A = sangat tidak stabil

D = netral

B = sedang tidak stabil

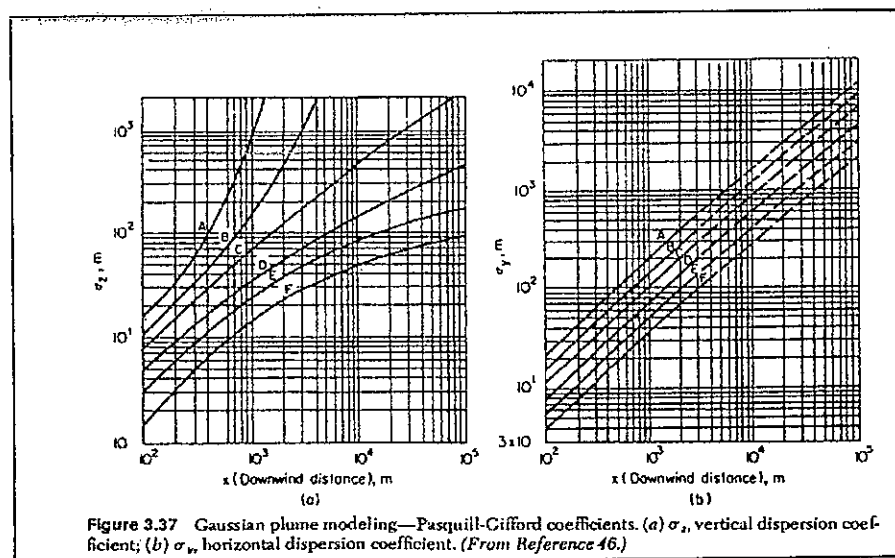
E = lemah stabil

C = lemah tidak stabil

F = stabil

Koefisien Difusi Horizontal dan Vertikal

Kurva koefisien difusi σ_z dan σ_y yang secara luas digunakan oleh divisi Jalan Raya California dan EPA. Gifford menggambarkan hasil dari pasquil untuk memplot kurva σ_z dan σ_y seperti ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 koefisien difusi σ_z dan σ_y

BAB III

METODA PENELITIAN

3.1. Lingkup Penelitian

Transportasi merupakan sektor penting yang memberi kontribusi terjadinya pencemaran udara di perkotaan. Pertambahan jumlah kendaraan mengakibatkan kepadatan lalu lintas di ruas ruas jalan kota Semarang semakin tinggi yang berakibat konsumsi bahan bakar akan meningkat dan emisi gas polutan dan atau partikel halus juga meningkat yang pada akhirnya konsentrasi polutan di udara ambien juga meningkat.

Evaluasi dilakukan terhadap kondisi komposisi dan volume kendaraan selama 24 jam pada beberapa ruas jalan yang padat di kota Semarang. Hal ini dilakukan karena volume kendaraan dan jenis kendaraan sangat berpengaruh terhadap besarnya laju emisi kendaraan.

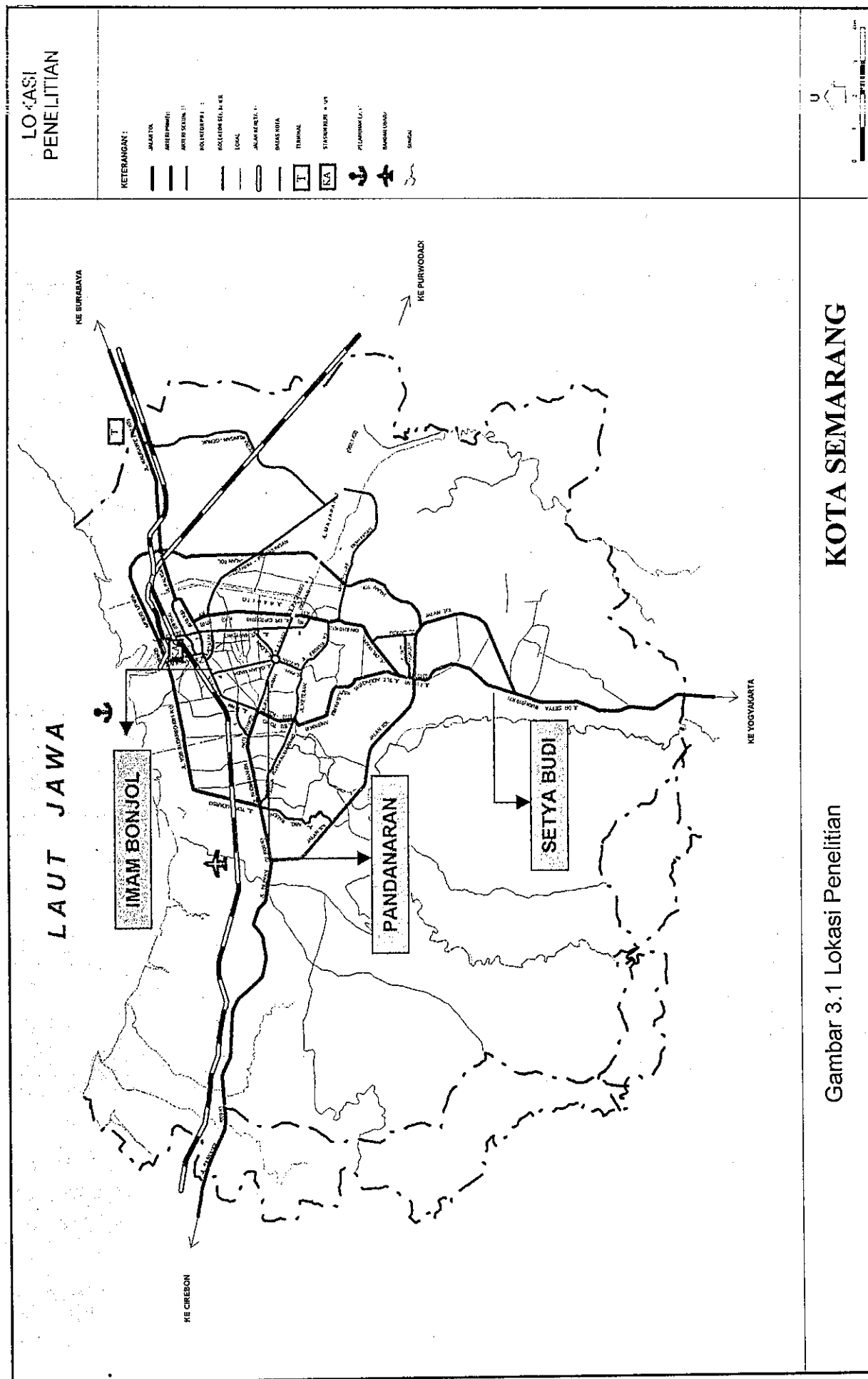
Adapun parameter zat pencemar (polutan) yang akan ditelaah tidak semua polutan, namun yang erat kaitannya dengan emisi gas buang kendaraan bermotor yaitu karbon monoksida (CO) dan partikel halus (PM¹⁰). Adapun alasan pemilihan parameter CO dan PM¹⁰ adalah selain karena karbon monoksida merupakan komponen pencemar terbesar yang berasal dari kendaraan bermotor akibat penggunaan bahan bakar fosil, polutan ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Demikian juga halnya PM¹⁰ jenis polutan ini juga termasuk polutan primer yang mencemari udara dan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia.

3.2. Lokasi Penelitian

Sarana transportasi yang dijadikan subjek penelitian adalah beberapa ruas jalan di Semarang yaitu Jalan Pandanaran, Jalan Imam Bonjol dan Jalan Setiabudi (lihat Gambar 3.1).

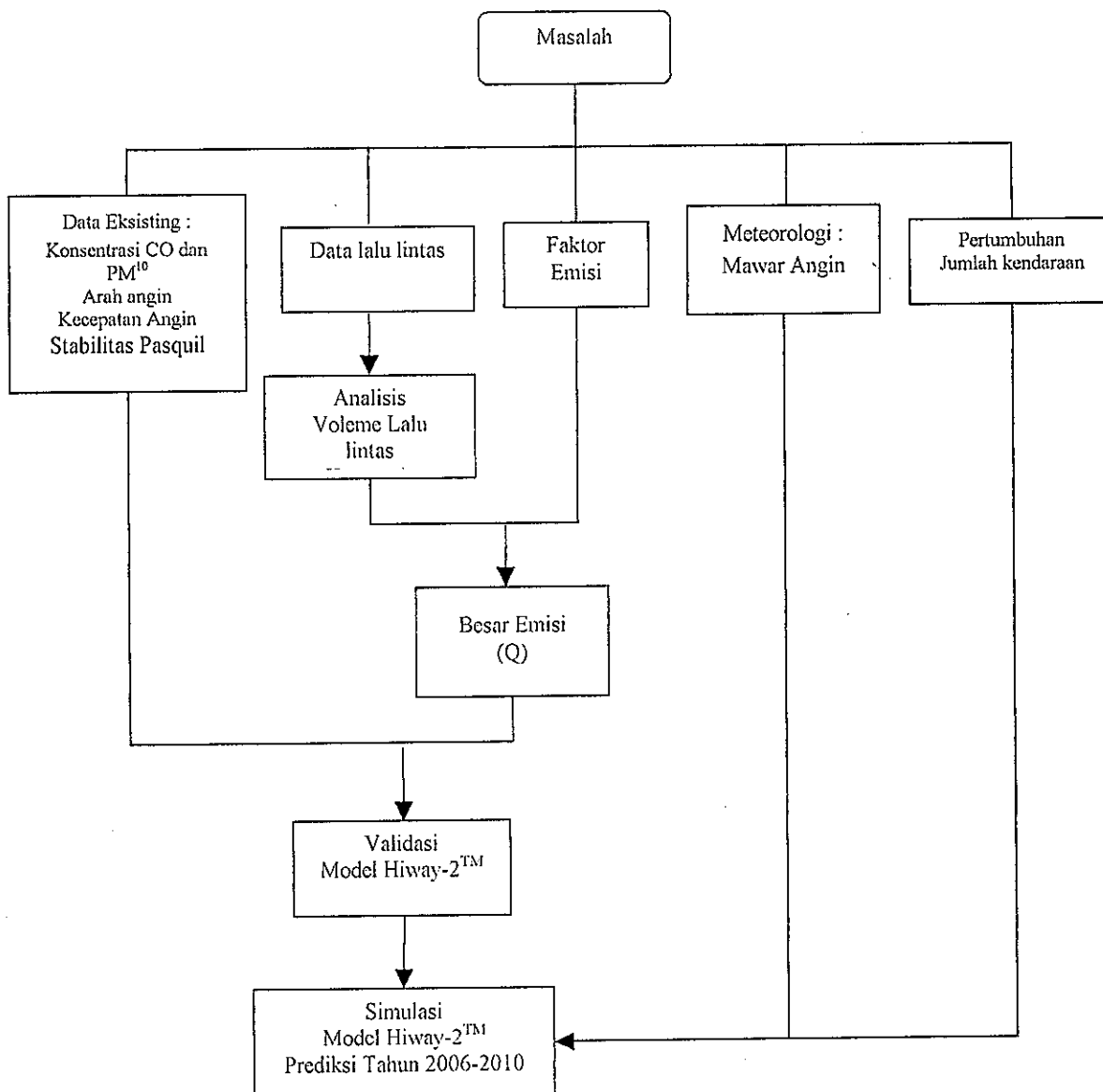
Pemilihan ruas jalan tersebut didasarkan pada pertimbangan (1) Jalan Pandanaran adalah jalan yang melayani pergerakan pusat kota, lalu lintas di ruas jalan ini cukup padat dan aktifitas masyarakat di wilayah ini sangat tinggi, (2) Jalan Imam Bonjol adalah merupakan jalan utama kota Semarang dengan klasifikasi fungsi Arteri Sekunder, lalu lintas di ruas jalan

ini termasuk dengan kepadatan sedang namun berpotensi meningkat terus, (3) Jalan Setiabudi melayani transportasi keluar kota Semarang dengan klasifikasi fungsi jalan Arteri Primer, dimana lalu lintasnya sudah sangat padat.



3.3. Tahapan pekerjaan penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pekerjaan seperti yang terlihat dalam diagram berikut :



Gambar 3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3.4. Tahap Pengumpulan Data

Data kualitas dan kerapatan kendaraan diperoleh dari Laporan Kualitas Udara Ambien di ruas Jalan Pandanaran, Jalan Imam Bonjol dan Jalan Setiabudi yang diukur pada tanggal 15-16 bulan Oktober 2002 oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan.

Dalam laporan tersebut disebutkan bahwa Pengambilan data atau sampel dilakukan secara kontinyu selama 24 jam di lokasi kajian, secara manual dan otomatis menggunakan mobil unit laboratorium pencemaran udara.

Pengambilan sampel kualitas udara dilakukan secara otomatis menggunakan peralatan MULPU (mobil unit laboratorium pencemaran udara) dengan parameter yang diukur meliputi : NO, NO₂, NO_x, O₃, SO₂, CO, PM¹⁰, metan-CH₄, Non metan-CH₄ untuk interval waktu setiap jam dalam 24 jam secara kontinyu. Pencatatan dilakukan secara otomatis menggunakan data logger. Partikulat diukur secara gravimetri.

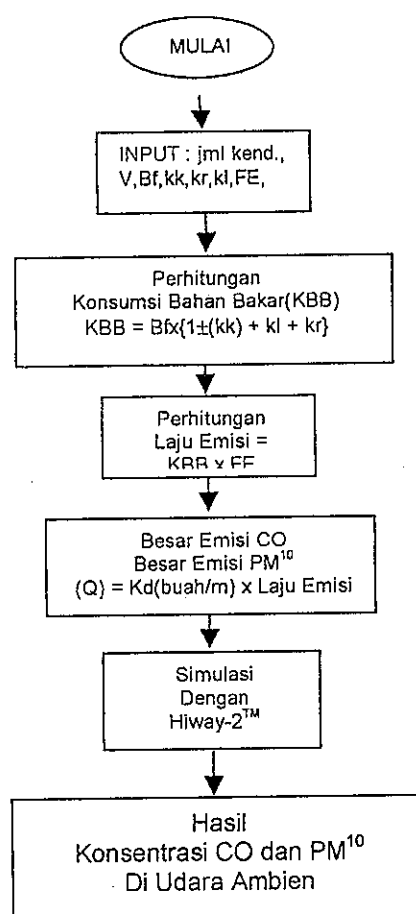
Pengamatan meterologi dilakukan secara otomatis menggunakan peralatan pada MULPU, data yang diperoleh adalah arah dan kecepatan angin, suhu udara ambien, kelembaban relatif, radiasi ultra violet, dan tingkat curah hujan untuk interval waktu setiap 1 jam selama 24 jam. Pencatatan dilakukan secara otomatis menggunakan data logger.

Data lalulintas diperoleh dengan cara penghitungan manual menggunakan alat traffic counter, data yang dicatat meliputi volume dan komposisi lalulintas.

Data mengenai pertumbuhan jumlah kendaraan diperoleh dengan analisis kecenderungan (trend) sehingga dapat diperkirakan besarnya jumlah kendaraan pada tahun ke-t berdasarkan persamaan matematik hasil analisis tadi. Untuk mencari persamaan tersebut maka dilakukan pengumpulan data jumlah kendaraan pertahun yang diperoleh dari Dinas Bina Marga, Dinas Perhubungan dan Biro Pusat Statistik Kota Semarang.

3.5. Tahapan Perhitungan

Sebelum ke-tahap simulasi dengan Software Hiway-2TM dimulai, terlebih dahulu dilakukan perhitungan perhitungan untuk mendapatkan besar emisi kendaraan. Bagan alir perhitungan secara garis besar dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Bagan Alir Tahap Perhitungan Emisi Sector Transportasi

3.6. Perhitungan Dengan Software Hiway-2TM

Software Hiway-2TM digunakan untuk menghitung besarnya konsentrasi CO atau PM¹⁰ di udara ambien yang berasal dari kendaraan bermotor. Software ini perhitungannya berdasar pada model dispersi gauss. Adapun langkah-langkah simulasi dengan model Hiway-2 adalah sebagai berikut :

a. Input data

Untuk perhitungan dispersi polutan dari jalan raya memerlukan input data dalam bentuk file berekstension *.dat. Parameter-parameter yang harus dimasukkan adalah sebagai berikut :

- (1) Arah angin, dinyatakan dalam derajat
- (2) Kecepatan angin, dalam m/detik
- (3) Increment dari kecepatan angin
- (4) Stabilitas class angin
- (5) Increment dari stabilitas angin
- (6) emisi yang diperoleh dari perhitungan
- (7) tinggi pencampuran, dalam meter
- (8) Tinggi dan lebar sumber serta jumlah lajur
- (9) Skala dalam peta (km)
- (10) Koordinat endpoint yang menyatakan batas-batas grid jalan yang akan disimulasikan.
- (11) Koordinat reseptor yang mengacu pada skala peta di lokasi

b. Running program

Pada tahap ini semua kondisi pada masing-masing file .dat akan dirunning sesuai dengan jumlah kategori yang dimasukkan. Hasil running akan dimasukkan ke dalam file berekstension *.lst. file ini dapat dibaca dengan software NotepadTM atau WordpadTM

c. Quit

Jika running sudah selesai maka program diterminasi dengan menekan enter pada menu "quit".

3.7. Pembahasan Hasil

Hasil dari simulasi software Hiway-2 kemudian dibahas, dilihat bagaimana pengaruh parameter parameter yang dimasukkan terhadap kualitas udara, khususnya akibat transportasi kendaraan bermotor. Bandingkan hasil prediksi dengan kualitas udara kondisi existing, lakukan analisis dan evaluasi atas kedua data tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

4.1.1. Kondisi Transportasi Kota Semarang

a. Tingkat Kepemilikan Kendaraan

Kendaraan bermotor di Kota Semarang terbagi menjadi 6 (enam) jenis, yaitu bus, truk, colt/oplek/taksi, daihatsu, mobil dinas/pribadi dan sepeda motor. Jenis kendaraan bermotor terbanyak yaitu sepeda motor, sejumlah 86.693 kendaraan, dan terus mengalami peningkatan dari tahun-tahun sebelumnya.

Jumlah total kendaran bermotor di Kota Semarang tahun 1998, yaitu 113.230 kendaraan. Jumlah kendaraan di kota Semarang sejak tahun 1994 dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 4.1
Kepemilikan Kendaraan di Kota Semarang

No	Jenis Kendaraan Bermotor	1998	1997	1996	1995	1994
1.	Bus	299	414	637	769	766
2.	Truk	1.065	1.122	1.233	1.217	1.073
3.	Colt/oplek/taksi	2.009	1.949	2.200	1.367	2.127
4.	Daihatsu	2.090	1.301	1.419	1.256	1.462
5.	Mobil dinas/pribadi	21.074	24.527	19.486	16.471	14.635
6.	Sepeda motor	86.693	81.662	73.162	74.580	67.651
	Total	113.230	110.975	98.137	95.660	87.714

Sumber : Direktorat Perkotaan dan Pedesaan Kimpraswil, Tahun 2002

b. Klasifikasi Jalan

Menurut UU No. 13 Tahun 1980 tentang jalan disebutkan pengklasifikasian jalan menurut fungsinya sebagai berikut:

Jalan Arteri : yaitu jalan yang melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, jumlah akses jalan masuk dibatasi secara efisien.

Jalan Kolektor : yaitu jalan yang melayani angkutan pengumpul dengan ciri-ciri perjalanan jarak sedang dan jumlah akses jalan masuk dibatasi.

Jalan Lokal : jalan yang melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah akses jalan masuk tidak dibatasi.

Jalan Setiabudi termasuk pada klasifikasi jalan arteri primer, jalan Imam Bonjol klasifikasi jalannya adalah arteri sekunder sedangkan jalan Pandanaran termasuk klasifikasi jalan kolektor primer.

c. Permasalahan Sistem Jaringan Jalan

Sistem jaringan jalan di Wilayah Kota Semarang dilalui jalur utama yang menghubungkan wilayah-wilayah penting baik antar propinsi maupun didalam propinsi Jawa Tengah. Kedudukan kota ini berpengaruh terhadap kepadatan lalu lintas yang melalui Kota Semarang. Permasalahan yang dihadapi dalam sektor transportasi ini adalah :

Percampuran pergerakan lokal (dalam kota) dengan pergerakan antar kota. Hal ini terjadi pada ruas Jl. Imam Bonjol, Jl.Terboyo. Jl R. Patah. Jl.Dr.Cipto. Jl.Perintis Kemerdekaan dan Jl. Siliwangi.

Kapasitas jaringan tidak sepadan dengan intensitas pergerakan pada beberapa ruas jalan. Khususnya pada jam-jam sibuk. Hal ini terutama terjadi pada Jl Setiabudi , Jl. Majapahit. dan Jl. Siliwangi.

Ketersediaan fasilitas transportasi yang kurang memadai yaitu Terminal halte dan tempat penyeberangan jalan. Efisiensi pergerakan kendaraan jalur Jakarta-Semarang dan Semarang-Surakarta mempunyai intensitas lebih tinggi dibandingkan dengan Semarang-Surabaya tetapi lokasi terminal berada di Terboyo. Hal ini mengakibatkan kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi pada jalur ke Terminal Terboyo.

4.1.2. Lokasi Pengambilan Data

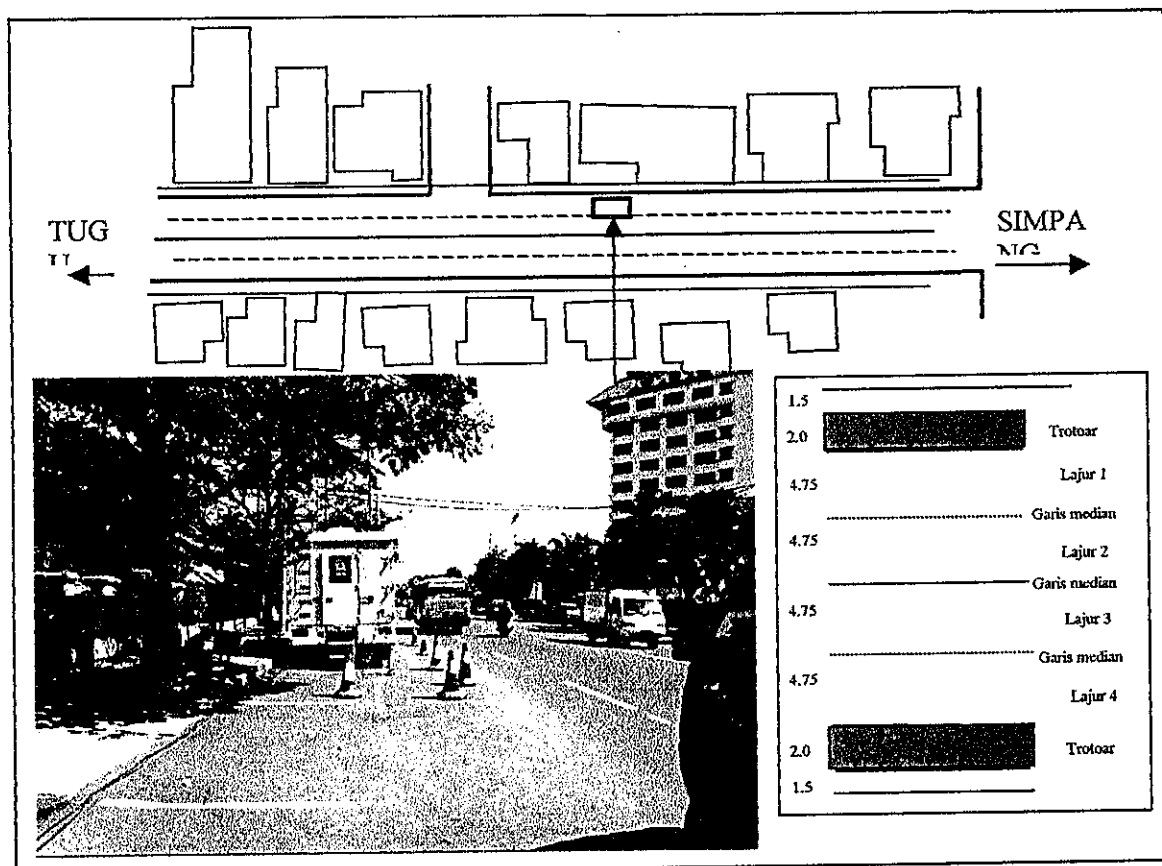
Pengambilan dan pengukuran kualitas udara, data meteorologis serta data lalu lintas dilakukan di ruas jalan sebagai berikut :

- Lokasi – 1 Jalan Pandanaran

Jalan Pandanaran berada di pusat kota Semarang, yang dimulai dari Tugu Muda berakhir di Simpang Lima. Lalu lintas di jalan ini cukup padat, dimana aktivitas masyarakat di lokasi ini seperti layaknya kota kota besar di Indonesia juga cukup sibuk. Tata gunalahannya didominasi perdagangan, jasa dan perkantoran.

Jalan Pandanaran dengan lebar 19 m terdiri dari 2 jalur 2 lajur (lane) dan dua arah tidak terbagi memiliki kapasitas (c) 3850 smp/jam.

Lokasi pengambilan sampling dan sketsa Jalan Pandanaran dapat dilihat pada Gambar 4.1.

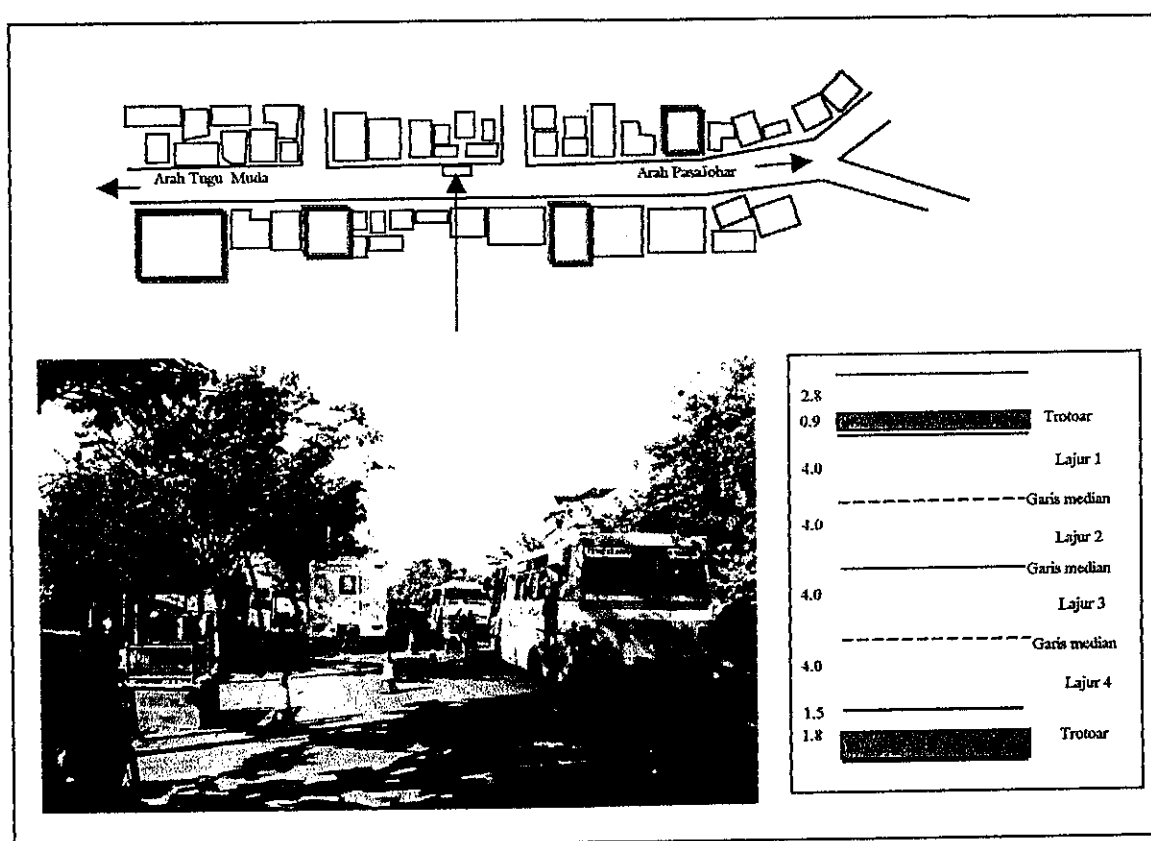


Gambar 4.1 Lokasi Pengamatan 1. Jl. Pandanaran, Tahun 2000

- **Lokasi – 2 Jalan Imam Bonjol**

Jalan Imam Bonjol, dimulai dari ujung jalan Letjend Suprpto dan berakhir di Tugu Muda. Jalan ini termasuk jalan utama kota Semarang dimana kerapatan lalu lintasnya termasuk sedang. Jalan Imam Bonjol dengan lebar 16 m terdiri dari 2 jalur 2 lajur (lane) dan dua arah tidak terbagi memiliki kapasitas (c) 3800 smp/jam. Peruntukan lahan di lokasi ini didominasi perdagangan dan jasa.

Lokasi pengambilan sampling dan sketsa jalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.

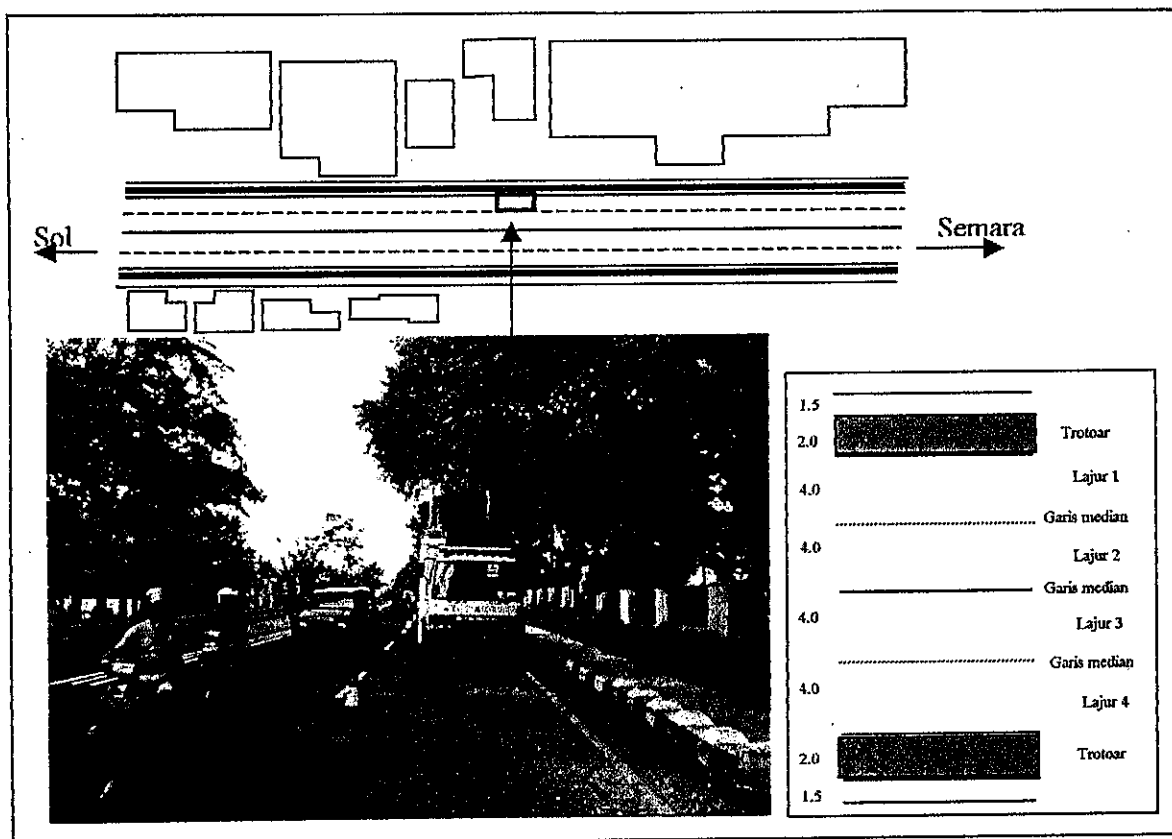


Gambar 4.2 Lokasi Pengamatan 2 Jl. Imam Bonjol, Tahun 2000

- **Lokasi – 3 Jalan Setiabudi**

Ruas jalan Setiabudi merupakan jalan arteri primer, yang melayani arus lalu lintas keluar kota semarang arah ke Selatan yaitu Solo. Jalan Setiabudi mempunyai lebar 16 m terdiri dari 2 jalur 2 lajur (lane) dan dua arah tidak terbagi dengan kapasitas (c) 3800 smp/jam.

Lokasi pengambilan sampling dan Seketsa dari jalan Setiabudi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Lokasi Pengamatan 3. Jl. Setiabudi, Tahun 2000

4.2 Komposisi Kendaraan dan Volume Lalulintas selama 24 Jam

Pengamatan volume dan komposisi kendaraan di lokasi pengamatan dilakukan dengan mengelompokkan kendaraan menjadi empat, yaitu kendaraan penumpang, Bus, Truk dan Sepeda Motor. Jumlah dari tiap jenis kendaraan tersebut didata setiap jamnya. Komposisi dan jumlah kendaraan tiap jam selama 24 jam pada masing masing lokasi adalah seperti berikut.

Lokasi 1. Jalan Pandanaran

Volume kendaraan di jalan Pandanaran, sepeda motor merupakan kendaraan yang paling besar persentasinya 53,2% diikuti kemudian kendaraan penumpang sebesar 45,0% sedangkan bus dan truk cukup sedikit yaitu 1,7%.

Kepadatan lalu lintas terjadi mulai pukul 07.00 hingga 22.00 dengan jumlah rata rata tiap jamnya 3.630 kendaraan, dimana kendaraan terpadat terjadi pada pukul 12.00 –13.00 yaitu 4.394 kendaraan. Berdasarkan kapasitas jalan tersebut yaitu 3850 smp/jam, v/c rasionya telah melebihi 0,8 hal ini mengindikasikan bahwa di jalan tersebut kecepatan kendaraan rendah dan sensitif dengan kemacetan.

Tabel 4.2
VOLUME LALU LINTAS DAN KOMPOSISI KENDARAAN
Jalan Pandanaran

Waktu	Komposisi Kendaraan					Jumlah
	Kendaraan Penumpang	Bus	Truk		Sepeda Motor	
			Besar	Kecil		
00.00-01.00	149	1	0	0	236	386
01.00-02.00	58	0	0	0	119	177
02.00-03.00	19	2	1	0	54	76
03.00-04.00	38	0	1	0	60	99
04.00-05.00	52	3	1	0	102	158
05.00-06.00	131	15	0	0	140	286
06.00-07.00	156	17	1	1	200	375
07.00-08.00	451	30	1	1	701	1,184
08.00-09.00	665	29	0	3	1,166	1,863
09.00-10.00	686	21	1	15	931	1,654
10.00-11.00	674	18	5	13	676	1,386
11.00-12.00	898	18	7	21	915	1,859
12.00-13.00	992	30	9	12	966	2,009
13.00-14.00	786	18	2	8	553	1,367
14.00-15.00	898	22	0	24	766	1,710
15.00-16.00	1,036	25	0	20	906	1,987
16.00-17.00	968	22	0	16	1,138	2,144
17.00-18.00	1,094	24	0	11	1,073	2,202
18.00-19.00	978	19	3	2	886	1,888
19.00-20.00	961	9	0	6	949	1,925
20.00-21.00	657	4	3	0	1,409	2,073
21.00-22.00	920	9	0	4	1,409	2,342
22.00-23.00	361	4	3	0	674	1,042
23.00-24.00	303	2	2	0	428	735
Jumlah	13,931	342	40	157	16,457	30,927
Rata-rata	580	14	2	7	686	1,289
Maximal	1,094	30	9	24	1,409	2,342
Minimal	19	0	0	0	54	76

Sumber : Hasil Pengamatan Puslitbang Jalan Kimpraswil, Tahun 2000

- **Lokasi 2 Jalan Imam Bonjol**

Komposisi volume kendaraan di jalan Imam Bonjol adalah jenis kendaraan penumpang 17.626, bus 1.041, truk 937 dan sepeda motor 24.126. Lalu lintas kendaraan di lokasi 2, didominasi oleh jenis sepeda motor yaitu 55,2% kemudian kendaraan penumpang 40,3% sedangkan bus dan truk cukup kecil yaitu 2,4% dan 2,1%

Tabel 4.3
VOLUME LALU LINTAS DAN KOMPOSISI KENDARAAN
Jalan Imam Bonjol

Waktu	Komposisi Kendaraan					Jumlah
	Kendaraan Penumpang	Bus	Truk		Sepeda Motor	
			Besar	Kecil		
00.00-01.00	194	22	16	0	251	483
01.00-02.00	100	23	3	0	136	262
02.00-03.00	118	20	0	0	149	287
03.00-04.00	91	15	1	0	161	268
04.00-05.00	91	9	0	1	96	197
05.00-06.00	167	20	6	0	144	337
06.00-07.00	477	80	21	0	811	1,389
07.00-08.00	755	56	9	24	911	1,755
08.00-09.00	901	64	14	24	1,024	2,027
09.00-10.00	933	44	31	18	1,347	2,373
10.00-11.00	1,013	59	30	20	1,520	2,642
11.00-12.00	1,101	64	17	22	1,381	2,585
12.00-13.00	1,018	60	30	15	1,285	2,408
13.00-14.00	944	53	18	16	1,229	2,260
14.00-15.00	997	59	23	17	1,200	2,296
15.00-16.00	1,256	56	70	29	1,781	3,192
16.00-17.00	1,222	71	50	51	2,033	3,427
17.00-18.00	1,278	68	41	37	1,669	3,093
18.00-19.00	968	52	37	28	1,614	2,699
19.00-20.00	1,080	35	44	15	1,635	2,809
20.00-21.00	1,041	32	26	16	1,433	2,548
21.00-22.00	927	39	36	14	1,166	2,182
22.00-23.00	613	20	35	0	716	1,384
23.00-24.00	341	20	32	0	434	827
Jumlah	17,626	1,041	590	347	24,126	43,730
Rata-rata	734	43	25	14	1,005	1,822
Maximal	1,278	80	70	51	2,033	3,427
Minimal	91	9	0	0	96	197

Sumber : Hasil Pengamatan Puslitbang Jalan Kimpraswil, Tahun (2000)

Kepadatan lalu lintas terjadi mulai pada pagi hari yaitu pukul 07.00 sampai malam hari pukul 22.00 dengan jumlah rata rata tiap jamnya 2.416 kendaraan, dimana kendaraan terpadat terjadi pada pukul 16.00-17.00 yaitu 3.427 kendaraan. Berdasarkan kapasitas jalan tersebut yaitu 3800 smp/jam, v/c rasionya 0,55 artinya jalan masih tidak begitu macet, lalu lintasnya masih lancar.

Untuk lebih jelasnya mengenai volume dan komposisi kendaraan di jalan Imam Bonjol dapat dilihat pada tabel 4.3.

- **Lokasi 3 Jalan Setiabudi**

Volume kendaraan di Jalan Setiabudi adalah kendaraan penumpang 30,640, kendaraan bus 1,563, truk 750 dan sepeda motor 34,873. Lalu lintas kendaraan di lokasi 3 didominasi oleh jenis sepeda motor yaitu 51,4% , kendaraan penumpang 45%, bus 2,3% sedangkan truk hanya 1,1%. Kepadatan lalu lintas terjadi pada pagi hari mulai pukul 05.00 sampai 09.00 yaitu antara 4.164 sampai 5.420 dan juga pada sore hari pukul 13 samapai 17 meningkat lagi yaitu 4.225 sampai 4.411, lalu lintas terpadat terjadi pada pukul 07 - 08 yaitu 5.420 kendaraan.

Kapasitas jalan tersebut adalah 3800 smp/jam dengan volume lalu lintas demikian maka v/c rasionya adalah 0.86, hal ini menunjukkan bahwa jalan tersebut sudah sangat padat, dan kemacetan lalu lintas sangat sering terjadi.

TABEL 4.4
VOLUME LALU LINTAS DAN KOMPOSISI KENDARAAN
Jalan Setiabudi

Waktu	Komposisi Kendaraan					Jumlah
	Kendaraan Penumpang	Bus	Truk		Sepeda Motor	
			Besar	Kecil		
00.00-01.00	279	6	1	3	163	452
01.00-02.00	76	10	0	3	121	210
02.00-03.00	135	8	0	0	77	220
03.00-04.00	160	9	0	8	51	228
04.00-05.00	194	11	0	11	122	338
05.00-06.00	1,811	161	33	11	2,148	4,164
06.00-07.00	1,635	135	25	27	2,867	4,689
07.00-08.00	2,070	123	7	32	3,188	5,420
08.00-09.00	2,095	77	2	23	2,712	4,909
09.00-10.00	1,712	82	15	36	2,191	4,036
10.00-11.00	1,951	81	19	35	2,155	4,241
11.00-12.00	1,889	87	13	26	1,948	3,963
12.00-13.00	1,674	92	91	31	1,963	3,851
13.00-14.00	1,944	112	17	29	2,123	4,225
14.00-15.00	2,166	95	18	49	2,114	4,442
15.00-16.00	1,710	109	16	60	1,876	3,771
16.00-17.00	1,844	111	15	33	2,408	4,411
17.00-18.00	1,504	54	3	22	1,397	2,980
18.00-19.00	1,392	38	0	2	1,295	2,727
19.00-20.00	1,444	53	3	3	1,203	2,706
20.00-21.00	1,212	43	2	5	914	2,176
21.00-22.00	893	22	1	3	776	1,695
22.00-23.00	423	18	1	5	588	1,035
23.00-24.00	427	26	5	6	473	937
Jumlah	30,640	1,563	287	463	34,873	67,826
Rata-rata	1,277	65	12	19	1,453	2,826
Maximal	2,166	161	91	60	3,188	5,420
Minimal	76	6	0	0	51	210

Sumber : Hasil Pengamatan Puslitbang Jalan Kimpraswil, Tahun 2000

Secara keseluruhan di 3 lokasi sampling tersebut, lalu lintas pada umumnya didominasi kendaraan jenis sepeda motor dan kendaraan penumpang. Dari 3 lokasi sampling kepadatan lalu lintas yang tertinggi terjadi di lokasi 3 yaitu jalan Setiabudi.

4.3 Parameter Kualitas Udara CO dan PM¹⁰

Di lokasi 1 jalan Pandanaran dari hasil pemantauan diperoleh konsentrasi CO rata rata dalam 24 jam adalah 3,660 ppm, konsentrasi minimum 1,476ppm dan maksimum 7,393ppm. Konsentaraais minimal terjadi pada pukul 03.00-04.00 sedangkan konsentrasi maximal terjadi pukul 16.00 – 17.00. Untuk parameter PM¹⁰ konsentrasi rata rata selama 24 jam adalah 94,017 ug/m³, konsentrasi minimum 58,100 ug/m³ dan maksimum 146,700 ug/m³. Konsentrasi minimum terjadi pada pukul 05.00-06.00 sedangkan konsentrasi maksimum terjadi pada pukul 16.00-17.00.

Konsentrasi CO rata rata selama 24 jam di lokasi.2 jalan Imam Bonjol adalah 2,2476ppm, konsentrasi CO minimum 0,8670ppm yang terjadi pada pukul 02.00-03.00 sedangkan konsentrasi CO maksimum adalah 4,4410 ppm yang terjadi pada pukul 18.00-19.00. Sedangkan untuk parameter PM¹⁰ konsentrasi rata rata adalah 71,9833ug/m³, Konsentrasi minimum 18,000ug/m³ terjadi pada pukul 03.00-04.00 dan konsentrasi maksimum adalah 143,3000ug/m³ yang terjadi pada pukul 18.00-19.00.

Di lokasi.3 terlihat bahwa konsentrasi CO rata rata selama 24 jam adalah 2,1277ppm, konsentrasi CO minimum 0,2990ppm yang terjadi pada pukul 02.00-03.00 sedangkan konsentrasi CO maksimum adalah 4,7580 ppm yang terjadi pada pukul 18.00-19.00. Sedangkan untuk parameter PM¹⁰ konsentrasi rata rata adalah 63,783ug/m³, Konsentrasi minimum 22,000ug/m³ terjadi pada pukul 03.00-04.00 dan konsentrasi maksimum adalah 144,4000ug/m³ yang terjadi pada pukul 17.00-18.00.

Hasil pemantau konsentrasi parameter kualitas udara CO dan PM¹⁰ di masing masing lokasi sampling adalah seperti tertera pada tabel 4.5.

Tabel. 4.5
Konsentrasi CO dan PM¹⁰ dalam 24 Jam

WAKTU	Pandananaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
	CO	PM ¹⁰	CO	PM ¹⁰	CO	PM ¹⁰
	Baku mutu 24 Jam					
	10,000 ug/m3	150 ug/m3	10,000 ug/m3	150 ug/m3	10,000 ug/m3	150 ug/m3
00.00-01.00	2.064	102.500	1.1180	58.1000	0.3580	53.3000
01.00-02.00	1.985	78.100	1.0030	53.3000	0.3317	39.2000
02.00-03.00	1.775	74.900	0.8670	41.2000	0.2990	26.1000
03.00-04.00	1.476	62.700	1.1460	18.0000	0.3430	22.0000
04.00-05.00	2.034	76.000	1.3940	53.2000	0.4780	31.3000
05.00-06.00	2.430	58.100	2.5380	78.8000	1.0180	44.0000
06.00-07.00	5.214	114.600	3.2590	101.3000	3.1820	51.9000
07.00-08.00	2.944	115.100	2.7550	112.2000	2.5430	77.2000
08.00-09.00	4.129	115.000	1.9110	68.2000	1.8750	50.4000
09.00-10.00	5.536	89.600	2.0800	49.3000	1.8880	60.3000
10.00-11.00	5.073	83.200	1.7190	60.3000	1.7880	48.1000
11.00-12.00	5.165	95.000	1.9700	39.2000	2.1260	56.4000
12.00-13.00	4.607	87.000	1.7060	48.4000	1.8600	43.5000
13.00-14.00	4.239	74.800	1.7830	57.4000	2.3230	58.0000
14.00-15.00	4.786	73.900	2.2560	47.4000	2.9830	74.1000
15.00-16.00	5.973	109.600	3.0010	85.1000	3.0830	84.3000
16.00-17.00	7.393	146.700	2.6680	90.5000	4.4100	97.5000
17.00-18.00	3.349	120.000	1.2690	54.1000	4.1030	144.4000
18.00-19.00	2.121	88.700	4.7710	143.3000	4.7580	117.4000
19.00-20.00	4.221	80.900	4.1240	131.8000	4.1670	82.2000
20.00-21.00	3.446	129.800	3.7430	96.0000	3.0030	96.0000
21.00-22.00	2.484	124.000	3.1240	92.9000	2.1620	64.3000
22.00-23.00	2.492	87.200	2.0720	93.4000	1.3230	53.9000
23.00-24.00	2.909	69.000	1.6650	78.2000	0.6600	55.0000
Jumlah	87.845	2,156.400	53.9420	1751.6000	51.0647	1530.8000
Rata-rata	3.660	94.017	2.2476	72.9833	2.1277	63.7833
Maximal	7.393	146.700	4.7710	143.3000	4.7580	144.4000
Minimal	1.476	14.600	0.8670	18.0000	0.2990	22.0000

Sumber : Hasil Pemantauan Puslitbang Jalan Kimpraswil, Tahun 2000

4.4 Penghitungan Besarnya Emisi CO dan PM¹⁰ Tahun 2000

a. Emisi CO

Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar sesuai dengan golongannya dikalikan dengan faktor emisi untuk tiap jenis kendaraan dengan satuan (gr/l) sehingga diperoleh besarnya emisi dengan satuan gr/km.jam dan kemudian dikonversi menjadi gr/det.m, hal ini dilakukan karena input data emisi untuk software Hiway-2 menggunakan satuan gr/det.m. Perhitungan

emisi CO dari kendaraan dilakukan untuk satu hari yaitu 24 jam (Cara perhitungan di lampiran 3), hasil dari perhitungan emisi CO dari kendaraan dua arah di tiap lokasi pada Tahun 2000 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 6 Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2000

		Pandananran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	1,232	0.0043819	1,074	0.0037651	1,089	0.0039764
	2		0.0043819		0.0037651		0.0039764
Jalur B	1	1,289	0.0045295	745	0.0024711	1,736	0.0051200
	2		0.0045295		0.0024711		0.0051200
Total =		2,521	0.0138228	1,819	0.0124724	2,825	0.0181929

Sumber : Hasil perhitungan 2004

b. Emisi PM¹⁰

Emisi PM¹⁰ dari kendaraan bermotor akibat penggunaan bahan bakar fosil dihitung dengan cara yang sama dengan perhitungan emisi CO, yang membedakan adalah besarnya factor emisi (perhitungan emisi PM¹⁰ dapat dilihat pada lampiran 3). Hasil perhitungan emisi PM¹⁰ dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Emisi PM¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2000

		Pandananran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	1,232	0.0001416	1,074	0.0001196	1,089	0.0001407
	2		0.0001416		0.0001196		0.0001407
Jalur B	1	1,289	0.0001483	745	0.0000979	1,736	0.0001655
	2		0.0001483		0.0000979		0.0001655
Total =		2,521	0.0005798	1,819	0.0004240	2,825	0.0006124

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

4.5. Simulasi Dispersi Pencemaran Udara

Untuk memprediksi konsentrasi parameter kualitas udara CO dan PM¹⁰ di udara ambient, dilakukan simulasi model yaitu dengan menggunakan Software Hiway – 2TM. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi CO dan PM¹⁰ di udara ambient dikaitkan dengan pertumbuhan lalu lintas di kota Semarang. Selain pertumbuhan jumlah kendaraan, diperlukan juga data arah dan kecepatan angin.

4.5.1. Perkiraan Pertumbuhan Jumlah Kendaraan

Data yang digunakan untuk memprediksi pertumbuhan lalu lintas adalah data jumlah kendaraan di kota Semarang dari Tahun 1994 – 1998, walaupun sebenarnya data tahun 1999 samapai 2001 tersedia. Data jumlah kendaraan di tahun 1999 dan 2000 tidak digunakan karena jumlah kendaraan di tahun tersebut lebih kecil dari tahun sebelumnya. Krisis ekonomi yang berkepanjangan pada tahun tersebut mengakibatkan pertumbuhan kepemilikan kendaraan negatif. Dengan asumsi keadaan ekonomi akan membaik seperti keadaan pada tahun 1994 – 1998 maka ke depan pertumbuhan kepemilikan kendaraan akan seperti pada tahun tahun tersebut.

Untuk memprediksi jumlah kendaraan tahun ke $-X$ data jumlah kendaraan dari tahun 1994 – 1998 dianalisis kecenderungannya dengan menggunakan program spreadsheet Microsoft Excel. Analisis yang digunakan yaitu analisis trend linier, logaritmik, polynomial, eksponensial dan power. Dari kelima analisis tersebut dibandingkan nilai R^2 -nya, yang paling besar nilai R^2 diambil sebagai persamaan matematik yang mewakili pertumbuhan kendaraan di kota Semarang. Adapun hasil analisis trend jumlah kendaraan tersebut disajikan pada table 4.8.

Tabel 4.8. Hasil analisis trend pertumbuhan jumlah kendaraan

No.	Jenis Analisis	Persamaan	Nilai R^2	Error (%)	Keterangan
1	Linier	$y = 6634.7 \cdot X + 81239$	0.9524	8.37	Tidak dipakai
2	Logaritmik	$y = 16081 \ln(X) + 85745$	0.9039	10.66	Tidak dipakai
3	Polinomial	$y = -72.929 \cdot X^2 + 7072.3 \cdot X + 80729$	0.9525	8.09	Tidak dipakai
4	Power	$y = 86293 \cdot X \cdot 0.1611$	0.9203	9.20	Tidak dipakai
5	Eksponensial	$y = 82619e^{0.0659 \cdot X}$	0.9538	9.20	Dipakai

Sumber : Hasil Perhitungan, 2004

Dari 5 jenis analisis tersebut terlihat bahwa analisis eksponensial memiliki nilai R^2 yang paling besar yaitu 0,9538, tetapi nilai error yang paling kecil terdapat pada hasil analisi

polynomial. Untuk memprediksi jumlah kendaraan pada tahun ke - X digunaka persamaan matematik dengan nilai R^2 paling besar yaitu persamaan

$$Y = 82619 \times e^{0,0659 \times X}$$

Dengan persamaan matematik tersebut, jumlah kendaraan tahun 2010 dapat diprediksi. Untuk tahun 2010, $X = 17$ jumlah kendaraan adalah sebagai berikut :

$$Y_{2010} = 82619 \times e^{0,0659 \times X}$$

$$Y_{2010} = 82619 \times e^{0,0659 \times 17}$$

$$Y_{2010} = 253291.kendaraan$$

Sedangkan jumlah kendaraan tahun 2000, $X = 7$, perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$Y_{2000} = 82619 \times e^{0,0659 \times X}$$

$$Y_{2000} = 82619 \times e^{0,0659 \times 7}$$

$$Y_{2000} = 131045.kendaraan$$

Bila diasumsikan bahwa pertumbuhan jumlah kendaraan tersebut terjadi secara homogen di seluruh wilayah Kotamadya Semarang, maka jumlah kendaraan disetiap lokasi pada tahun 2010 dapat diprediksi dengan cara mengalikan jumlah kendaraan aktual tahun 2000 dengan factor konversi, yaitu :

$$FK = Y_{2010} / Y_{2000}$$

$$= 253291 / 131045$$

$$= 1,933$$

Dengan asumsi bahwa hal ini juga berlaku untuk setiap jenis kendaran, maka jumlah dan komposisi kendaraan pada tahun 2006 sampai 2010 di lokasi pengamatan dapat diprediksi.

4.5.2. Iklim Kota Semarang

Menurut Badan Meteorologi dan Geofisika Balai Wilayah II stasiun Klimatologi Semarang, suhu udara rata rata di Kota semarang berkisar antara 26,5 C samapai dengan 27,9 C. Kelembaban udara rata rata bervariasi dari 69% sampai 84%.

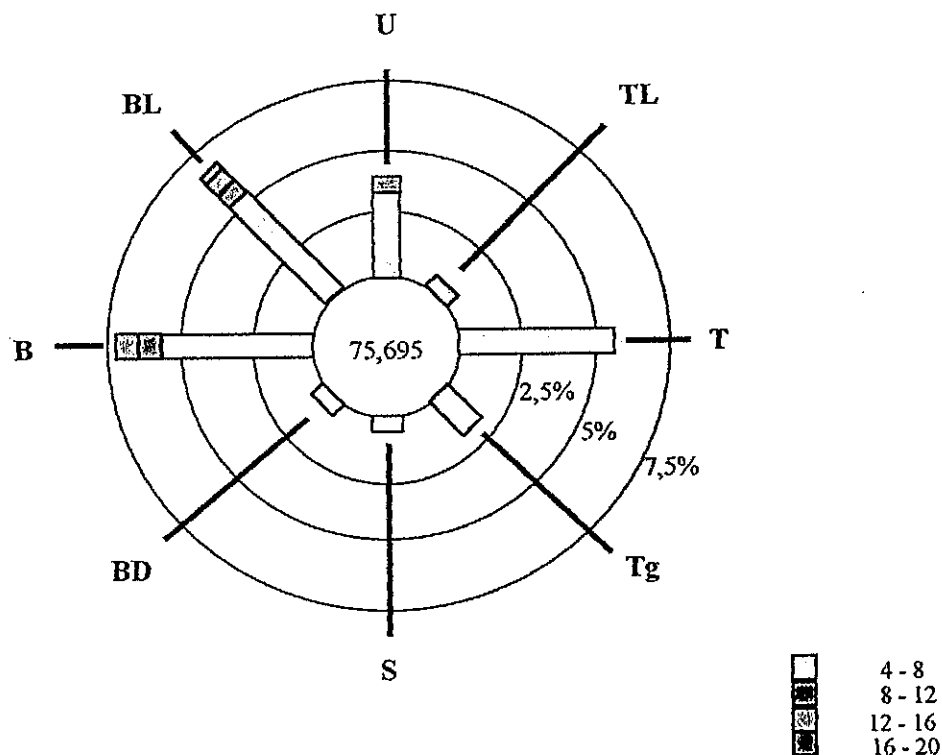
Letak kota semarang hampir berada ditengah bentang panjang Kepulauan Indonesia dari arah barat ke timur. Akibat posisi letak geografi tersebut, kota Semarang termasuk beriklim tropis dengan 2 (dua) musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau silih berganti. Rata rata curah hujan bulanan tertinggi pada bulan Januari sebesar 434,2 mm dan terendah pada Agustus sebesar 62,0mm.

Untuk memprediksi arah dan kecepatan angin pada tahun 2010 diperlukan data arah dan kecepatan angin selama beberapa tahun. Kecenderungan arah dan kecepatan angin selama kurun waktu 14 tahun (1988 s.d. 2002) di kota Semarang dapat dilihat pada tabel 4.9 sedangkan mawar angin kota Semarang disajikan seperti pada gambar 4.4

Tabel 4.9 Data Kejadian angin di BMG Stasiun Meteorologi Maritim Semarang
Tahun 1988 – 2002

Kecepatan Angin (knot)	Arah Angin (%)							
	U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL
0 – 4	75,695							
4 – 8	3,825	0,037	5,124	1,812	0,037	0,037	6,204	5,472
8 – 12	0,092	-	-	-	-	-	0,860	0,531
12 - 16	-	-	-	-	-	-	0,201	0,055
16 - 20	-	-	-	-	-	-	-	

Sumber : BMG Stasiun Meteorologi Maritim Semarang, 2002



Mawar Angin
Gambar 4.4

Dari persentase kejadian angin diketahui bahwa :

1. Kecepatan angin hingga 0 – 4 knot, persentasenya adalah 75,695 % merata ke segala arah.
2. Kecepatan angin 4 – 8 knot, persentasenya adalah 3,825 % dari arah Utara, 0,037 % ke arah Timur Laut, 5,124 % ke arah Timur, 1,812 % dari arah Tenggara, 0,037 % ke arah Selatan, 0,037 % ke arah Barat Daya, 6,204 ke arah Barat dan 5,472 % dari arah Barat Laut.
3. Kecepatan angin 8 – 12 knot, persentasenya adalah 0,029 % ke arah Utara, 0,860 % ke arah Barat dan 0,531 % dari arah Barat Laut.
4. Kecepatan angin 12 – 16 knot, persentasenya adalah 0,201 % ke arah Barat dan 0,055 % dari arah Barat Laut.
5. Kecepatan angin 16 – 20 knot, persentasenya adalah 0,018 % dari arah Barat laut.

Kecepatan angin dominan adalah 0 – 4 knot (1 knot = 0.5 m/detik), yang arah anginnya merata ke segala arah. Kecepatan angin yang digunakan sebagai input data software

Hiway-2TM adalah Kecepatan angin rata rata yaitu 2 knot atau 1 m/det sedangkan arah angin digunakan sembarang.

4.5.3. Validasi Model

a. Model Hiway-2TM

Untuk mengetahui seberapa besar perbedaan hasil simulasi dengan hasil pemantauan maka dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan pemantauan/pengukuran.

Parameter CO

Simulasi dengan software Hiway-2TM memerlukan input emisi CO dari setiap lajur (*lane*) dengan satuan gr/det.m. Jalan yang diamati semuanya terdiri dari 2 jalur 2 lajur (*lane*), jadi input emisi untuk simulasi ini dibuat 4 *lane*. Besarnya emisi CO tiap *lane* pada tahun 2000 di tiap lokasi dapat dilihat seperti tertera pada Tabel 4.15.

Tabel.4.10 Emisi CO 24 jam pada Tahun 2000

		Pandanaran (gr/det.m)	Imam Bonjol (gr/det.m)	Setiabudi (gr/det.m)
Jalur.A	1	0.0043819	0.003765	0.0039764
	2	0.0043819	0.003765	0.0039764
Jalur.B	1	0.0045295	0.002471	0.0051200
	2	0.0045295	0.002471	0.0051200

Sumber : Hasil Perhitungan,2004

Arah angin dan kecepatan angin yang digunakan pada simulasi ini adalah arah angin yang dominan pada saat pengamatan dan kecepatan angin adalah kecepatan angin rata rata selama 24 jam pada saat pengamatan. Kecepatan angin dan arah angin di tiap lokasi adalah sebagai berikut; lokasi Pandanaran kecepatan angin 1,150 m/det dan arahnya 225^o (Barat Daya); lokasi Imam Bonjol kecepatan angin 1,842 m/det dan arahnya 135^o (Tenggara) ; lokasi Setiabudi kecepatan anginnya 2,126 dan arahnya 315^o (Barat Laut).

Hasil simulasi software Hiway-2TM, kemudian dibandingkan dengan hasil pemantauan. Perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pemantauan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Perbandingan Konsentrasi CO 24 jam Hasil Simulasi dengan Pemantauan

Lokasi	Konsentrasi CO (Pemantauan)	Konsentrasi CO (Hiway-2 TM)	Error
Pandanaran	3,660 (ppm)	2,948 (ppm)	24,2 %
Imam Bonjol	2,247 (ppm)	1,537 (ppm)	46,2 %
Setiabudi	2,127 (ppm)	2,010 (ppm)	5,8 %

Sumber : Hasil Perhitungan, 2004

Parameter PM¹⁰

Pelaksanaan dan input data yang digunakan dalam simulasi Hiway-2TM untuk parameter PM¹⁰ sama dengan pelaksanaan simulasi parameter CO yang beda adalah emisinya saja. Perbandingan konsentrasi PM¹⁰ hasil simulasi dengan hasil pemantauan disajikan pada Tabel berikut :

Tabel 4.12 Perbandingan Konsentrasi PM¹⁰ 24 jam Hasil Simulasi dengan hasil Pemantauan

Lokasi	Konsentrasi PM ¹⁰ (Pemantauan) (ug/m3)	Konsentrasi PM ¹⁰ (Hiway-2 TM) (ug/m3)	Error
Pandanaran	94,017	106,00	11,3 %
Imam Bonjol	72,983	51,00	43,10 %
Setiabudi	63,783	77,00	17,2 %

Sumber : Hasil Perhitungan, 2004

Penyimpangan hasil simulasi untuk parameter CO terhadap hasil pengukuran di lokasi Jalan Pandanaran sebesar 24,2 %, jalan Imam Bonjol sebesar 46,2 % dan di jalan Setiabudi sebesar 5,6 %, sedangkan untuk parameter PM¹⁰ adalah 11,3% di jalan pandanaran, 43,1 % di jalan Imam Bonjol dan 17,2 % di jalan Setiabudi.

Banyak kemungkinan penyebab terjadinya penyimpangan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi tersebut, tapi yang dapat disampaikan disini adalah kemungkinan kesalahan dari input data.

1. Emisi

Emisi yang diinputkan berupa hasil dari perhitungan yang menggunakan model konsumsi bahan bakar dengan factor koreksi adalah kelandaian, kekasaran jalan dan kapasitas jalan. Karena kesulitan dalam hal mendapatkan data jenis kendaraan maka kendaraan hanya dikelompokkan sesuai dengan penggolongan PT Jasa Marga, umur kendaraan dan pola berkendara tidak diperhitungkan.

2. Arah angin

Input arah angin pada software Hiway-2TM dalam bentuk derajat ($^{\circ}$) sedangkan data yang ada adalah berupa derajat mata angin dimana range cukup lebar, selain itu arah angin yang digunakan adalah merupakan arah angin dominan.

3. Kecepatan angin

Kecepatan angin yang digunakan pada simulasi Hiway-2TM adalah kecepatan angin rata-rata selama pengamatan 24 jam.

Dari ke 3 lokasi tersebut penyimpangan terbesar terjadi di lokasi 2 Jl. Imam Bonjol. Pada lokasi 2 jalan Imam Bonjol perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi baik untuk parameter CO maupun PM¹⁰ yaitu lebih dari 40%. Besarnya penyimpangan ini selain dari kemungkinan dari input emisi dan atau arah angin, lebih banyak dipengaruhi karena kecepatan angin tiap jamnya di lokasi tersebut sangat bervariasi.

b. Perhitungan Analitik dengan Model Gauss

Besar perbedaan Konsentrasi CO dan PM¹⁰ antara hasil pemantauan dilapangan dengan hasil perhitungan Model Gauss dengan menggunakan MS Excel adalah seperti disajikan pada tabel berikut 4.13

Tabel 4.13 Perbedaan Konsentrasi CO dan PM¹⁰ Antara Hasil Perhitungan menggunakan MS Excel dengan Hasil Pemantauan

Lokasi	Emisi CO	Model Gauss Konsentrasi CO	Pengukuran Konsentrasi CO	Error
Pandanaran	0.01782	3090.94	4188.36	26.2%
Imam Bonjol	0.01246	1366.36	2434.05	43.9%
Setiabudi	0.01816	1703.86	2537.05	32.8%
	Emisi PM	Konsentrasi PM	Konsentrasi PM	
Pandanaran	0.00058	100.60	94.40	-6.6%
Imam Bonjol	0.000435	47.70	72.98	34.6%
Setiabudi	0.000612	57.42	63.78	10.0%

Sumber : Hasil perhitungan 2004

Perbedaan antara hasil perhitungan dengan hasil pemantauan baik dengan menggunakan model Hiway-2TM maupun dengan menggunakan MS Excel sama sama memiliki perbedaan yang cukup besar di lokasi Imam Bonjol. Hal ini terjadi karena data kecepatan angin yang digunakan dalam perhitungan adalah kecepatan angin rata rata tiap jam dalam satu hari pada hal dari data tersebut terdapat kecepatan angin satu jam yang perbedaannya cukup besar dengan kecepatan angin rata rata.

4.5.4. Prediksi Konsentrasi CO dan PM¹⁰ di Udara Ambien Tahun 2006 -2010

a. Perhitungan Emisi CO dan PM¹⁰

Hasil perhitungan prediksi pertumbuhan jumlah kendaraan digunakan sebagai dasar untuk menghitung komposisi dan volume kendaraan lalu lintas di lokasi pengamatan. Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,8 % tiap tahun dihitung besar emisi CO dan PM¹⁰ dari tahun 2006 sampai 2010, kemudian emisi tersebut digunakan sebagai input simulasi model dispersi

Hiway-2TM dalam rangka memprediksi konsentrasi CO dan PM¹⁰ di udara ambient pada tahun tahun tersebut. Adapun hasil perhitungan emisi CO dan PM¹⁰ untuk tahun 2006 - 2010 adalah sebagai berikut :

Emisi CO

Hasil perhitungan Emisi CO dari kendaraan bermotor di tiap lokasi dari tahun 2006 sampai tahun 2010 disajikan pada Tabel 4.14 sampai Tabel 4.18.

Tabel 4.14 Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2006

		Pandanaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	1,830	0.0072840	1,594	0.0057031	1,617	0.0061561
	2		0.0072840		0.0057031		0.0061561
Jalur B	1	1,914	0.0075472	1,107	0.0037738	2,578	0.0079350
	2		0.0075472		0.0037738		0.0079350
Total =		3,744	0.0296622	2,701	0.0189538	4,196	0.0281822

Tabel 4.15 Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2007

		Pandanaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	1,954	0.0079657	1,703	0.0061961	1,727	0.0067083
	2		0.0079657		0.0061961		0.0067083
Jalur B	1	2,044	0.0082508	1,182	0.0041032	2,754	0.0086274
	2		0.0082508		0.0041032		0.0086274
Total =		3,998	0.0324330	2,885	0.0205886	4,481	0.0306714

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.16 Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2008

		Pandanaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	2,087	0.0086126	1,819	0.0066180	1,845	0.0073196
	2		0.0086126		0.0066180		0.0073196
Jalur B	1	2,184	0.0089193	1,263	0.0043826	2,941	0.0093917
	2		0.0089193		0.0043826		0.0093917
Total =		4,271	0.0350738	3,081	0.0220012	4,786	0.0334226

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.17 Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2009

		Pandanaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	2,230	0.0098279	1,943	0.0070712	1,971	0.0079081
	2		0.0098279		0.0070712		0.0079081
Jalur B	1	2,333	0.0101688	1,349	0.0046827	3,143	0.0101347
	2		0.0101688		0.0046827		0.0101347
Total =		4,563	0.0399934	3,292	0.0235078	5,114	0.0360856

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.18 Emisi CO 24 Jam pada Tahun 2010

		Pandanaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	2,455	0.0109642	2,140	0.0078566	2,170	0.0090216
	2		0.0109642		0.0078566		0.0090216
Jalur B	1	2,569	0.0113426	1,485	0.0052049	3,460	0.0116476
	2		0.0113426		0.0052049		0.0116476
Total =		5,024	0.0446136	3,625	0.0261230	5,631	0.0413384

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Emisi PM¹⁰

Hasil perhitungan Emisi PM¹⁰ dari kendaraan bermotor di tiap lokasi dari tahun 2006 sampai tahun 2010 disajikan pada Tabel 4.19 sampai Tabel 4.23

Tabel 4.19 Emisi PM¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2006

		Pandanaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
		Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A	1	1,830	0.0002722	1,594	0.0001922	1,617	0.0002314
	2		0.0002722		0.0001922		0.0002314
Jalur B	1	1,914	0.0002879	1,107	0.0001575	2,578	0.0002799
	2		0.0002879		0.0001575		0.0002799
Total =		3,744	0.011202	2,701	0.0006994	4,196	0.0010228

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.20 Emisi PM¹⁰ 24 Jam pada Tahun 2007

	Pandananaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A 1	1,954	0.0003062	1,703	0.0002141	1,727	0.0002580
2		0.0003062		0.0002141		0.0002580
Jalur B 1	2,044	0.0003237	1,182	0.0001751	2,754	0.0003126
2		0.0003237		0.0001751		0.0003126
Total =	3,998	0.0012598	2,885	0.0007784	4,481	0.0011412

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.21 Emisi PM(10) 24 Jam pada Tahun 2008

	Pandananaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A 1	2,087	0.0003360	1,819	0.0002287	1,845	0.0002884
2		0.0003360		0.0002287		0.0002884
Jalur B 1	2,184	0.0003552	1,263	0.0001871	2,941	0.0003500
2		0.0003552		0.0001871		0.0003500
Total =	4,271	0.0013824	3,081	0.0008316	4,786	0.0012768

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.22 Emisi PM(10) 24 Jam pada Tahun 2009

	Pandananaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A 1	2,230	0.0003933	1,943	0.0002443	1,971	0.0003156
2		0.0003933		0.0002443		0.0003156
Jalur B 1	2,333	0.0004159	1,349	0.0001999	3,143	0.0003833
2		0.0004159		0.0001999		0.0003833
Total =	4,563	0.0016284	3,292	0.0008884	5,114	0.0013978

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Tabel 4.23 Emisi PM(10) 24 Jam pada Tahun 2010

	Pandananaran		Imam Bonjol		Setiabudi	
	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)	Vol. Lalin	Emisi (gr/det.m)
Jalur A 1	2,455	0.0004455	2,140	0.0002750	2,170	0.0003674
2		0.0004455		0.0002750		0.0003674
Jalur B 1	2,569	0.0004711	1,485	0.0002247	3,460	0.0004525
2		0.0004711		0.0002247		0.0004525
Total =	5,024	0.0018332	3,625	0.0007747	5,631	0.0016399

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

b. Simulasi dengan Model Hiway-2TM

Simulasi dilakukan dengan sekenario sesuai dengan mawar angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika Balai Wilayah II stasiun Klimatologi Semarang, yaitu arah angin sembarang kesegala arah dengan kecepatan rata rata 1m/det,. Adapun hasil simulasi dengan software Hiway-2TM adalah sebagai berikut.

Parameter CO

- **Jalan Pandanaran**

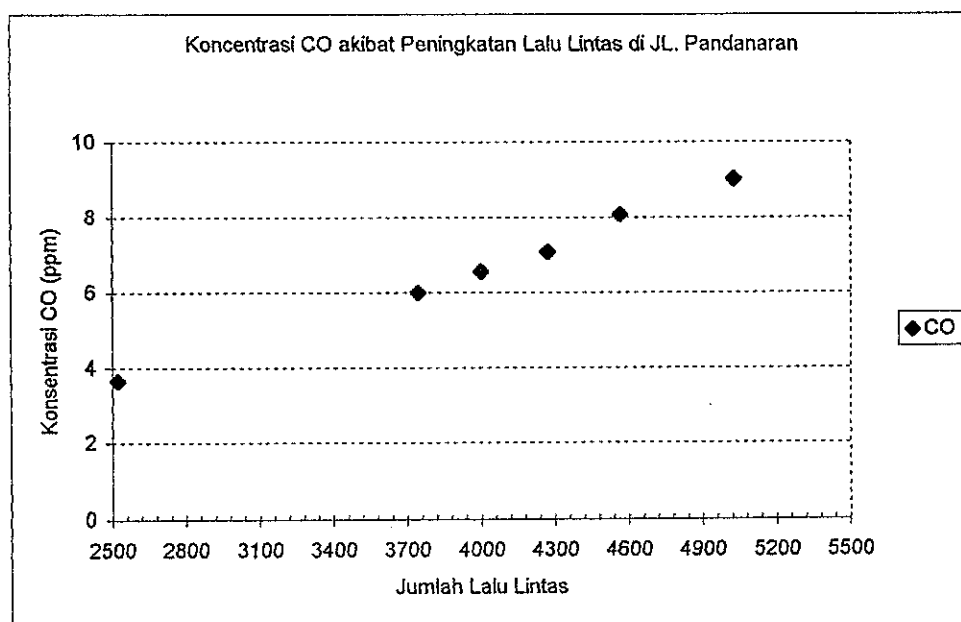
Hasil simulasi konsentrasi CO di udara ambient yang berasal dari kendaraan bermotor pada kondisi kecepatan angin 1 m/det, arah angin 135⁰ dari tahun 2006 sampai 2010 adalah seperti pada tabel 4.24.

Tabel 4.24 Konsentrasi CO 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 - 2010
Lokasi Jalan Pandanaran

	Tahun					
	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Lalin	2521	3,744	3,998	4,271	4,563	5,024
Emisi (gr/det.m)	0.01329333	0.0221153	0.0241822	0.0261445	0.0298247	0.0332709
Konsentrasi CO (ppm)	3.66	5.998	6.559	7.091	8.088	9.022

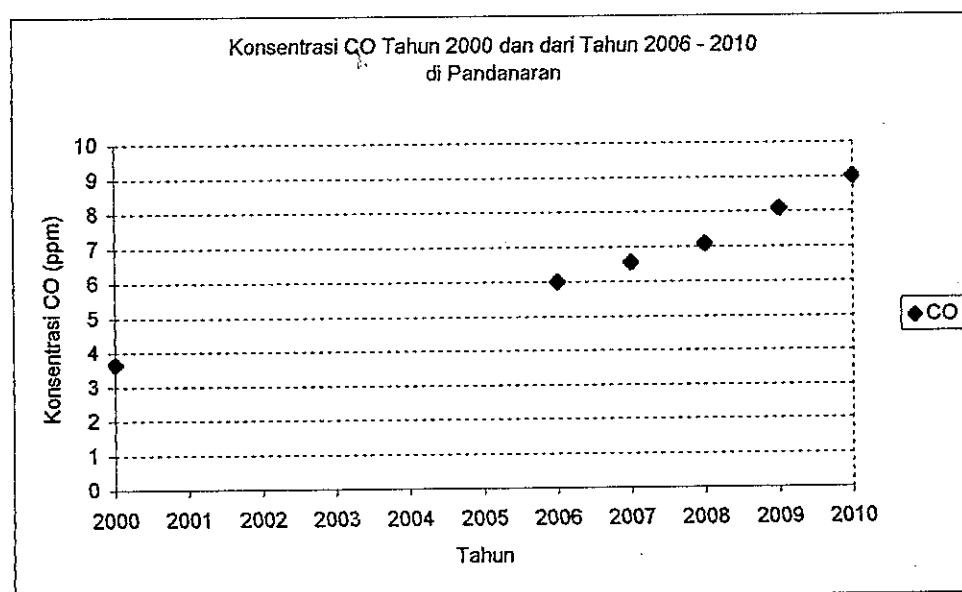
Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Grafik peningkatan konsentrasi CO akibat pertumbuhan lalu lintas di jalan Pandanaran ditunjukkan seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Konsentrasi CO akibat Peningkatan Lalu Lintas di Jl. Pandanaran

Grafik peningkatan konsentrasi CO dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Pandanaran ditunjukkan seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Konsentrasi CO Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jl. Pandanaran

Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,81 % tiap tahunnya dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi CO meningkat secara linier dimana pada tahun 2010 dengan jumlah lalu lintas 5024 kendaraan konsentrasi CO di sekitar jalan Pandanaran akan mencapai 9,022 ppm. Kalau

dibandingkan hasil simulasi tahun 2010 dengan konsentrasi CO hasil pengukuran pada tahun 2000 yaitu 3,66 ppm terjadi kenaikan sebesar 146,5%.

Konsentrasi CO di lokasi jalan Pandanaran pada tahun 2010 yaitu 9,022 ppm bila dibandingkan dengan baku mutu CO 24 jam yaitu 10.000 ug/m³ (8,7ppm) sudah melampaui baku mutu yang diperbolehkan.

• Jalan Imam Bonjol

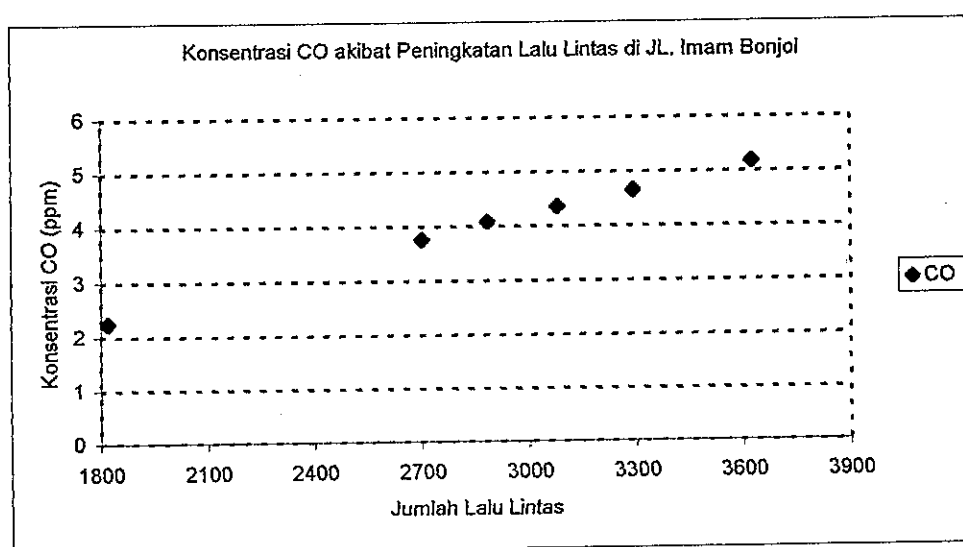
Hasil simulasi konsentrasi CO di udara ambient yang berasal dari kendaraan bermotor pada kondisi kecepatan angin 1 m/det, arah angin 157^o dari tahun 2006 sampai 2010 adalah seperti pada tabel 4.25.

Tabel 4.25 Konsentrasi CO 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 - 2010
Lokasi Jalan Imam Bonjol

	Tahun					
	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Lalin	1819	2,701	2,885	3,081	3,292	3,625
Emisi (gr/det.m)	0.01000121	0.0151801	0.0164953	0.0176185	0.0188250	0.0209181
Konsentrasi CO (ppm)	2.247	3.75	4.075	4.353	4.651	5.169

Sumber : Hasil Perhitungan 2004

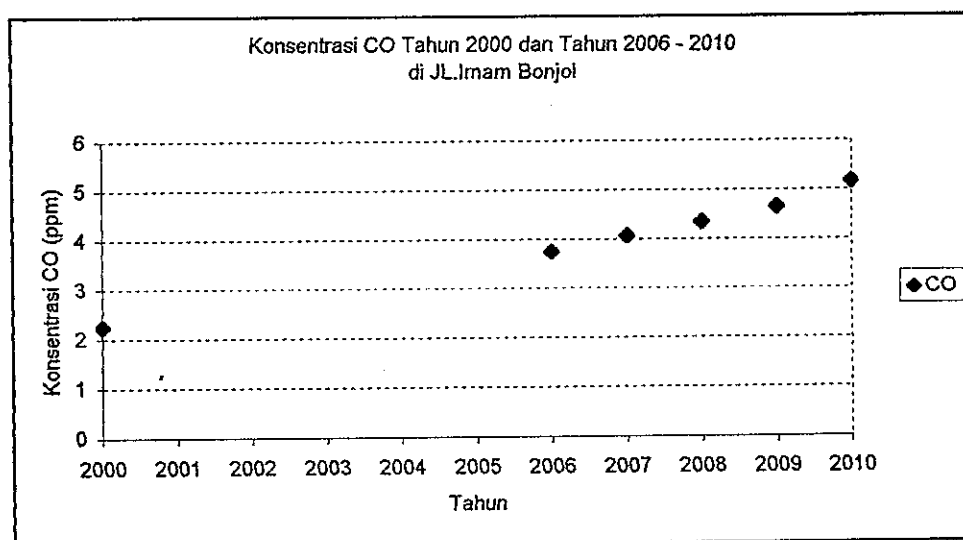
Grafik peningkatan konsentrasi CO akibat pertumbuhan lalu lintas di jalan Imam Bonjol ditunjukkan seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Konsentrasi CO akibat Peningkatan Lalu Lintas di Jl. Imam Bonjol

Grafik peningkatan konsentrasi CO dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Imam

Bonjol ditunjukkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.8 Konsentrasi CO Tahun 2000 dan dari Tahun 2006 - 2010 di Jl. Imam Bonjol

Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,81 % tiap tahunnya dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi CO meningkat secara linier, pada tahun 2010 dengan jumlah lalu lintas 3.625 kendaraan konsentrasi CO di sekitar jalan Imam Bonjol mencapai angka 5,169 ppm. Kalau dibandingkan hasil simulasi tahun 2010 dengan konsentrasi CO hasil pengukuran pada tahun 2000 yaitu 2,247 ppm terjadi kenaikan sebesar 130.0%.

Konsentrasi CO di lokasi jalan Imam Bonjol pada tahun 2010 yaitu 5,169 ppm bila dibandingkan dengan baku mutu CO 24 jam yaitu 10.000 ug/m³ (8,7ppm) belum melampaui baku mutu yang diperbolehkan.

- **Jalan Setia Budi**

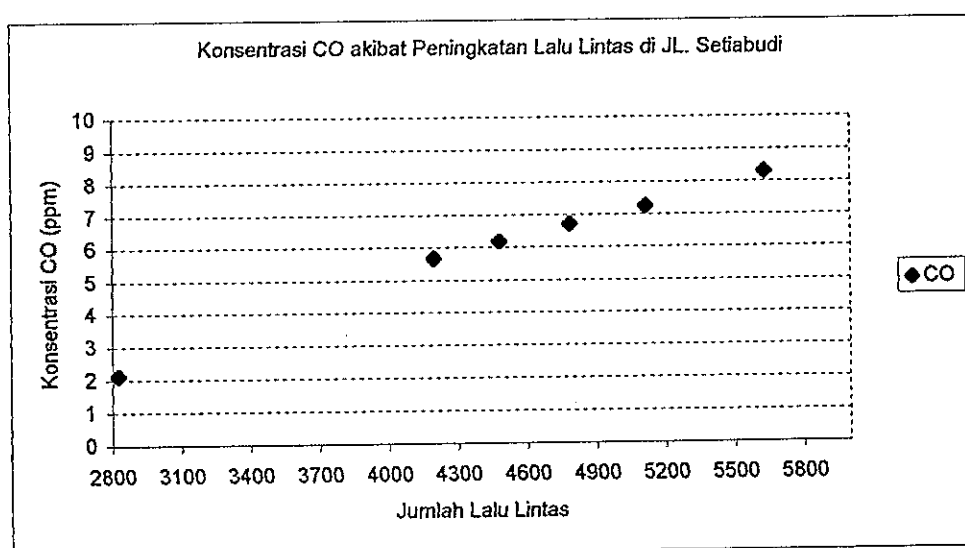
Hasil simulasi konsentrasi CO di udara ambient yang berasal dari kendaraan bermotor pada kondisi kecepatan angin 1 m/det, arah angin 315^o dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Setiabudi adalah seperti pada tabel 4.26.

Tabel 4.26 Konsentrasi CO 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 – 2010
Lokasi Jalan Setiabudi

	Tahun					
	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Lalin	2825	4,196	4,481	4,786	5,114	5,631
Emisi (gr/det.m)	0.01819287	0.0281821	0.0306713	0.0334225	0.0360856	0.0413383
Konsentrasi CO (ppm)	2.127	5.667	6.166	6.717	7.255	8.313

Sumber : Hasil perhitungan

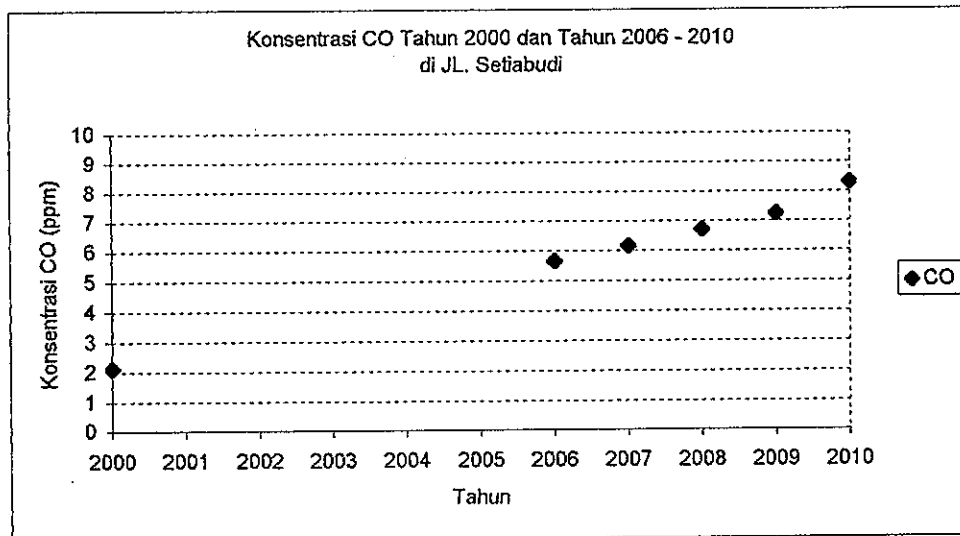
Grafik peningkatan konsentrasi CO akibat pertumbuhan lalu lintas di jalan Setiabudi ditunjukkan seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Konsentrasi CO akibat Peningkatan Lalu Lintas di Jl. Setiabudi

Grafik peningkatan konsentrasi CO dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Setiabudi

ditunjukkan seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Konsentrasi CO Tahun 2000 dan dari Tahun 2006 – 2010 di Jl. Setiabudi

Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,81 % tiap tahunnya dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi CO meningkat secara linier, pada tahun 2010 dengan jumlah lalu lintas 5.631 kendaraan konsentrasi CO di sekitar jalan Setiabudi mencapai angka 8,313 ppm. Kalau dibandingkan hasil simulasi tahun 2010 dengan konsentrasi CO hasil pengukuran pada tahun 2000 yaitu 2,127 ppm terjadi kenaikan sebesar 290.8%.

Konsentrasi CO di lokasi jalan Setiabudi pada tahun 2010 yaitu 8,313 ppm bila dibandingkan dengan baku mutu CO 24 jam yaitu 10.000 ug/m³ (8,7ppm) belum melampaui baku mutu yang diperbolehkan tetapi sudah sangat mendekati, terpaut hanya 0,387 ppm saja.

Parameter PM¹⁰

• Jalan pandanaran

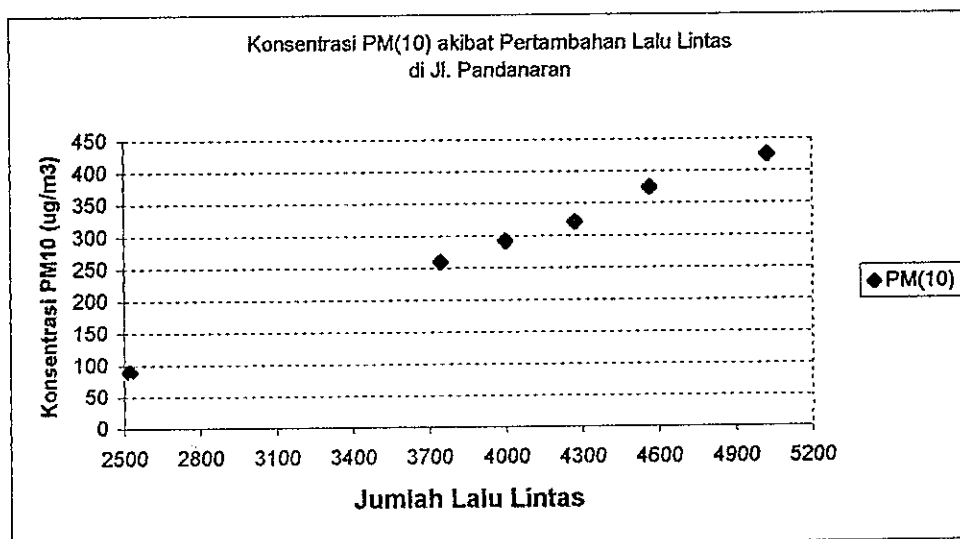
Hasil simulasi konsentrasi PM¹⁰ di udara ambient yang berasal dari kendaraan bermotor pada kondisi kecepatan angin 1 m/det, arah angin 135⁰ disekitar jalan pandanaran dari tahun 2006 sampai 2010 adalah seperti pada tabel 4.27

Tabel 4.27 Konsentrasi PM(10) 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 - 2010
Lokasi Jalan Pandanaran

	Tahun					
	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Lalin	2521	3,744	3,998	4,271	4,563	5,024
Emisi (gr/det.m)	0.00043154	0.00083235	0.00093607	0.00102715	0.00120255	0.00136209
Konsentrasi PM(10) (ug/m3)	89.85	260	292	321	375	426

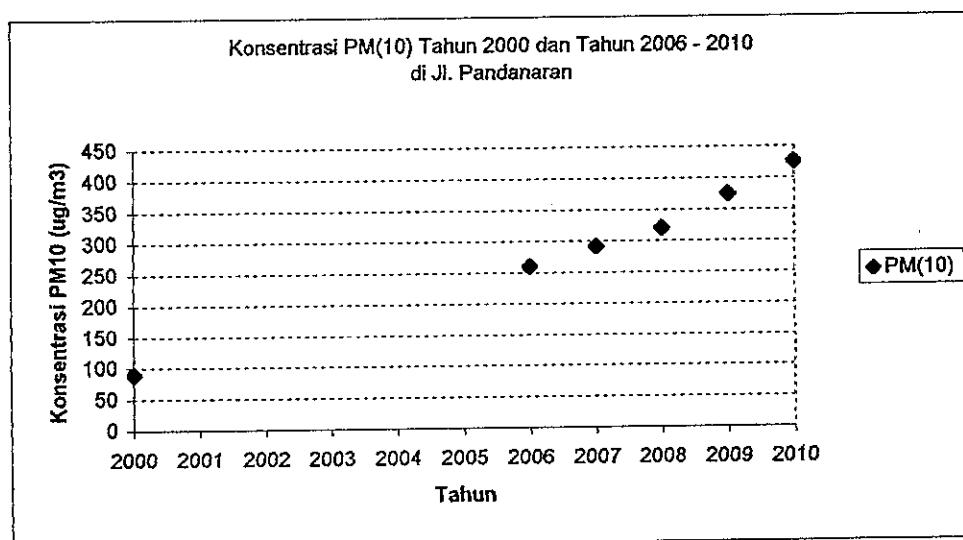
Sumber : Hasil Perhitungan 2004

Grafik peningkatan konsentrasi PM¹⁰ akibat pertumbuhan lalu lintas di jalan Pandanaran ditunjukkan seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Konsentrasi PM¹⁰ akibat Peningkatan Lalu Lintas di Jl. Pandanaran

Grafik peningkatan konsentrasi PM¹⁰ dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Pandanaran ditunjukkan seperti pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Konsentrasi PM¹⁰ Tahun 2000 dan dari Tahun 2006 – 2010 di Jl. Pandanaran

Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,81 % tiap tahunnya dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi PM^{10} meningkat secara linier, pada tahun 2010 dengan jumlah lalu lintas 5024 kendaraan konsentrasi PM^{10} di sekitar jalan Pandanaran akan mencapai 426 ug/m³. Kalau dibandingkan hasil simulasi tahun 2010 dengan konsentrasi PM^{10} hasil pengamatan pada tahun 2000 yaitu 94,017 ug/m³ terjadi kenaikan sebesar 353.1%.

Bila dibandingkan dengan baku mutu PM^{10} 24 jam yaitu 150 ug/m³, pada tahun 2006 dengan jumlah lalu lintas 3.744 konsentrasi PM^{10} di jalan Pandanaran sebesar 260 ug/m³ sudah melampaui baku mutu yang diperbolehkan.

- **Jalan Imam Bonjol**

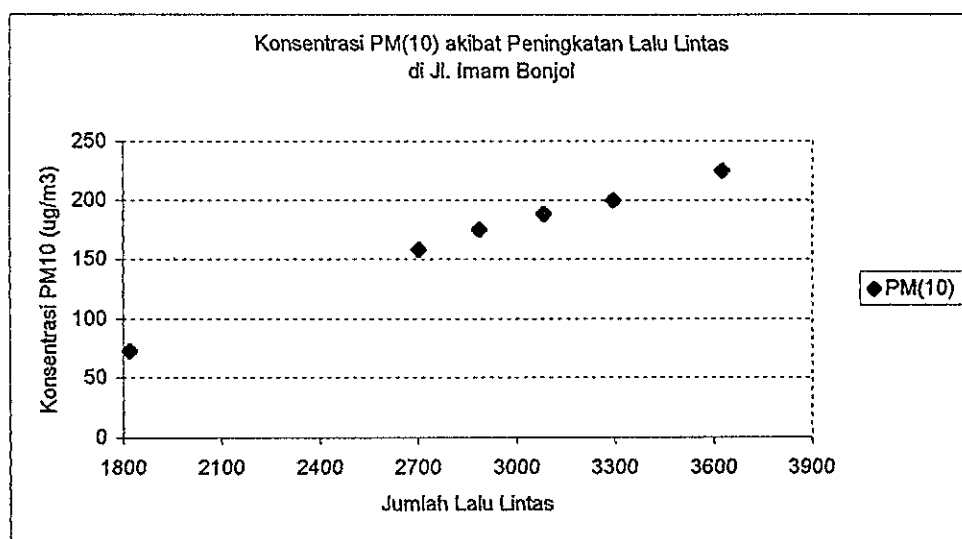
Hasil simulasi konsentrasi PM^{10} di udara ambient yang berasal dari kendaraan bermotor pada kondisi kecepatan angin 1 m/det, arah angin 157⁰ disekitar jalan Imam Bonjol dari tahun 2006 sampai 2010 adalah seperti pada 4.28.

Tabel 4.28 Konsentrasi $PM(10)$ 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 - 2010
Lokasi Jalan Imam Bonjol

	Tahun					
	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Lalin	1819	2,701	2,885	3,081	3,292	3,625
Emisi (gr/det.m)	0.00033712	0.0005420	0.0006033	0.0006444	0.0006885	0.0007747
Konsentrasi $PM(10)$ (ug/m ³)	72.98	158	175	188	200	225

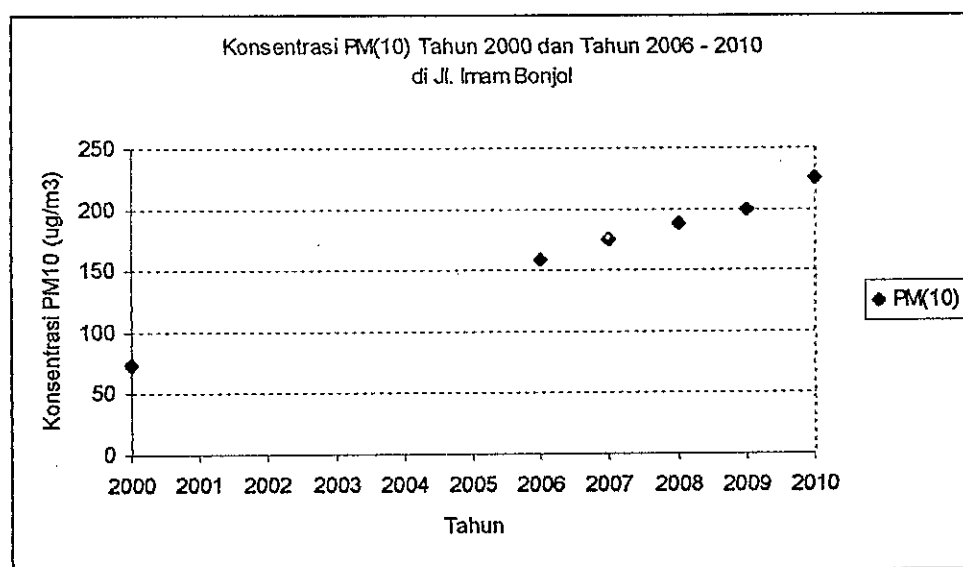
Sumber : Hasil perhitungan 2004

Grafik peningkatan konsentrasi PM^{10} akibat pertumbuhan lalu lintas di jalan Imam Bonjol ditunjukkan seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Konsentrasi PM^{10} akibat Peningkatan Lalu Lintas di Jl. Imam Bonjol

Grafik peningkatan konsentrasi PM^{10} dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Imam Bonjol ditunjukkan seperti pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Konsentrasi PM^{10} Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jl Imam Bonjol

Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,81 % tiap tahunnya dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi PM^{10} meningkat secara linier, pada tahun 2010 dengan jumlah lalu lintas 3.625 kendaraan konsentrasi PM^{10} di sekitar jalan Imam Bonjol akan mencapai 225 ug/m³. Kalau dibandingkan Konsentrasi PM^{10} hasil simulasi tahun 2010 dengan konsentrasi PM^{10} hasil pengamatan pada tahun 2000 terjadi kenaikan sebesar 208,3 %.

Pada tahun 2006 dengan jumlah lalu lintas 3.744 konsentrasi PM^{10} di jalan Imam Bonjol telah mencapai angka 260 $\mu g/m^3$, bila dibandingkan dengan baku mutu PM^{10} 24 jam yaitu 150 $\mu g/m^3$, sudah melampaui baku mutu yang diperbolehkan.

- **Jalan Setia Budi**

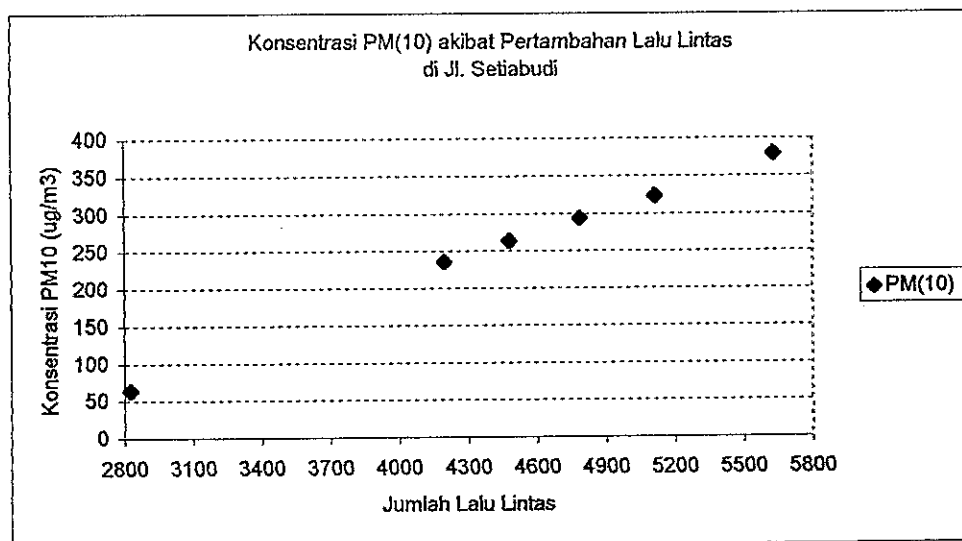
Hasil simulasi konsentrasi PM^{10} di udara ambient yang berasal dari kendaraan bermotor pada kondisi kecepatan angin 1 m/det, arah angin 315^0 disekitar jalan Setiabudi dari tahun 2006 sampai 2010 adalah seperti pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 Konsentrasi $PM(10)$ 24 Jam di Udara Ambien dari Tahun 2006 - 2010
Lokasi Jalan Setiabudi

	Tahun					
	2000	2006	2007	2008	2009	2010
Volume Lalin	2825	4,196	4,481	4,786	5,114	5,631
Emisi (gr/det.m)	0.00061231	0.0010227	0.0011412	0.0012769	0.0013978	0.0016399
Konsentrasi $PM(10)$ ($\mu g/m^3$)	63.78	236	264	294	323	379

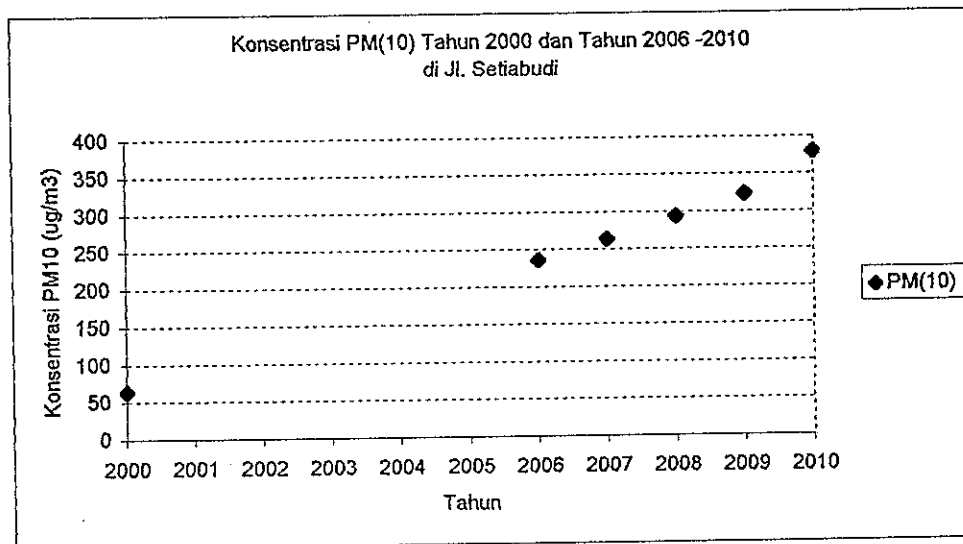
Sumber : Hasil perhitungan 2004

Grafik peningkatan konsentrasi PM^{10} akibat pertumbuhan lalu lintas di jalan Setiabudi ditunjukkan seperti pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Konsentrasi PM^{10} akibat Peningkatan Lalu Lintas di Jl. Setiabudi

Grafik peningkatan konsentrasi PM^{10} dari tahun 2006 sampai 2010 di jalan Setiabudi ditunjukkan seperti pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Konsentrasi PM^{10} Tahun 2000 dan Tahun 2006 – 2010 di Jl Setiabudi

Dengan pertumbuhan lalu lintas 6,81 % tiap tahunnya dari grafik diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi PM^{10} meningkat secara linier, pada tahun 2010 dengan jumlah lalu lintas 5.631 kendaraan konsentrasi PM^{10} di sekitar jalan Imam Bonjol akan mencapai 379 $\mu g/m^3$. Kalau dibandingkan Konsentrasi PM^{10} hasil simulasi tahun 2010 dengan konsentrasi PM^{10} hasil pengamatan pada tahun 2000 terjadi kenaikan sebesar 494.2 %.

Pada tahun 2006 dengan jumlah lalu lintas 3.744 konsentrasi PM^{10} di jalan Imam Bonjol telah mencapai angka 260 $\mu g/m^3$, bila dibandingkan dengan baku mutu PM^{10} 24 jam yaitu 150 $\mu g/m^3$, sudah melampaui baku mutu yang diperbolehkan.

4.6. Upaya Pengelolaan Yang Disarankan

Dari hasil penelitian didapat bahwa akan terjadi peningkatan konsentrasi gas polutan seiring dengan semakin bertambahnya jumlah kendaraan bermotor di wilayah kota semarang. Hal ini baik secara langsung maupun tidak langsung akan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan.

Dalam usaha untuk mencegah semakin meningkatnya emisi gas buang kendaraan bermotor, salah satu cara yang perlu dilakukan adalah memperbaiki manajemen transportasi wilayah Kota Semarang.

Permasalahan yang sesegera mungkin harus diselesaikan adalah masalah semerawutnya lalu lintas, baik itu karena pelayanan angkutan umum yang tidak memadai, tumpang tindih antara rute pelayanan bus, mini bus dan angkot. Masalah disiplin berlalu lintas juga hal hal yang harus segera ditegakkan.

Khusus jalan Setiabudi tahun 2010 kondisinya sudah sangat padat, pada hal jalan ini merupakan jalan utama kota Semarang menuju luar kota yaitu kearah Solo. Untuk mengatasi beban lalu lintas yang semakin berat di jalan tersebut, penambahan ruas jalan sepertinya perlu diupayakan, misalnya dengan segera merealisasikan jalan tol Semarang – Solo.

Beberapa strategi kunci yang dapat menjadi landasan dalam mengembangkan kebijakan transportasi kota adalah : (1) Berikan prioritas dan alokasikan sebagian ruang jalan kepada sarana angkutan yang berokupansi tinggi, (2) Siapkan *framework* regulasi dan institusional agar teralokasi dana yang wajar bagi pemberdayaan angkutan umum perkotaan, (3) Kembangkan *skim voluntary*, dan ekspedisi misalnya untuk turut serta merta melakukan harmonisasi penyelenggaraan angkutan serta penegakan disiplin berlalu lintas, (4) Segera kembangkan system jaringan angkutan umum masal secara bertahap dimulai dari sekala biaya investasi yang masih mungkin terjangkau, seperti : busway. (5) Manfaatkan system jaringan jalan tol semaksimal mungkin untuk pengoperasian angkutan bus (6) Akhirnya adalah penegakan hukum, disiplin berlalu lintas perlu ditingkatkan.

Di negara-negara maju, upaya untuk menurunkan tingkat pencemaran udara ini bervariasi, dan kesemuanya dikenal dengan istilah “upaya mengendalikan transportasi” (*transportation control measures*). Upaya mengendalikan transportasi banyak dipusatkan pada pengurangan kepadatan lalu lintas, dengan menggunakan system yang berkisar dari

metode fisik, seperti lampu lalu lintas yang terkoordinasi, jalan satu arah, dan bermobil berpatungan atau jalur bus yang terpisah, sampai metode penggunaan insentif ekonomi, misalnya “tarif jalur padat” yang mengharuskan pengemudi membayar jika melalui jalan raya disaat lalu lintas padat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil evaluasi emisi karbon monoksida (CO) dan partikel halus (PM^{10}) dari kendaraan bermotor di tiga lokasi ruas jalan kota Semarang, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pertambahan jumlah kendaraan akan membuat volume kendaraan di ruas jalan Pandanaran, Imam Bonjol dan Setiabudi semakin meningkat seiring dengan itu emisi gas buang juga semakin besar yang kemudian mengakibatkan konsentrasi polutan CO dan PM^{10} juga semakin besar di udara ambient.
2. Dengan menggunakan model Hiway-2TM diprediksi konsentrasi CO pada tahun 2010 di tiap lokasi pengamatan adalah Jalan Pandanaran 9,022 ppm, Jalan Imam Bonjol 5,169 ppm dan Jalan Setiabudi 8,313 ppm. Konsentrasi CO di lokasi Pandanaran pada tahun 2010 telah melampaui baku mutu CO 24 jam yang diperbolehkan, lokasi Setiabudi terpaut 0,387 ppm sedangkan lokasi Imam Bonjol pada tahun tersebut belum melampaui baku mutu. Konsentrasi PM^{10} pada tahun 2010 adalah untuk jalan Pandanaran 426 ug/m³, jalan Imam Bonjol 225 ug/m³ dan jalan Setiabudi 379 ug/m³. Konsentrasi PM^{10} di ke -3 lokasi pada tahun 2006 diprediksi telah melampaui baku mutu PM^{10} 24 jam.

5.2. Saran

1. Model Hiway-2TM memerlukan upaya perbaikan data, oleh karena itu diperlukan penelitian yang lebih intensif lagi tentang emisi gas buang kendaraan, baik CO maupun PM¹⁰
2. Dalam mengatasi permasalahan pencemaran udara yang terjadi pada ketiga ruas jalan tersebut perlu diupayakan pengelolaan system transportasi, baik itu perbaikan melalui kebijakan maupun perbaikan prasarana transportasi. Khusus pada jalan Setiabudi dengan kondisi kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi diperlukan alternatif penanganan dengan merealisasikan pembangunan jalan tol Semarang – Solo.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPEDAL, PCI, AUSAID & PEMDA DKI., 1998. Panduan Pengantar Teknologi Pencemaran Udara. BAPEDAL Jakarta
- Bilal, J., Mustafa, B. 1997. Faktor Bahan Bakar Minyak Terhadap Pencemaran Udara, Puslitbang Limigas, Jakarta,.
- Colls, J., 2002. Air Pollution. Spon Press, New York.
- Danartini S.S., dan Sigit Orayitno. 2001. Analisis Waktu Tempuh (Travel Time) Kendaraan Bermotor dari Pusat Kegiatan Menuju Pusat Kota Yogyakarta. Simposium ke-4 FTSPT, Udayana Bali, 8 November 2001.
- Gerard Kiely., 1998. Environmental Engineering. McGraw-Hill Companies, New York.
- Isnaeni ,2001. Pengembangan Metodologi Permodelan Untuk Mengestimasi Dampak Lingkungan Dan Dampak Ekonomi Bagi System Transportasi Kota Yang Berkelanjutan.
- John G.R and Wooten D.C., 1980, Environmental Impact Analysis Handbook, McGraw-Hill Book Company. New York.
- Moestikahadi Soedomo., 2001. Pencemaran Udara, Penerbit ITB Bandung.
- Nevers, ND., 1995. Air Pollutin Control Engineering. McGraw-Hill, Inc. Singapore.
- Petersen, W.B., 1980, User's Guide for HIWAY-2. EPA Publication No. EPA-600/8-80-018. U.S. Environmental Protection Agency, ESRL, Research Tirangle Park, NC (NTIS PB 80-227-556)
- PUSLIBANG Jalan Kimpraswil, 2000. Pemantauan dan Pengolahan Polusi Udara dan Kebisingan Jalan Raya Kota Besar di Indonesia.
- Rifky Kurniawan, 2002. Analisa Hubungan Konsentrasi Emisi Gas Buang Oksida Nitrogen dan Karbon Monoksida Dari Kendaraan Bermotor di Kota Bandung, Trisakti Jakarta.
- Sofyan, A., 2001. Sistem Pendukung Keputusan Pengelolaan Kualitas Udara Karbon Monoksida di Kota Bandung menggunakan Multi Kotak Eulerian. Magister Teknik Lingkungan, ITB
- Steinfeld, JH., 1986. Atmospheric Chemistry and Physic of Air Pollution. Jhon Wiley & Sons, NewYork.

Stephen Marshall. 1986. Textbook "Planning For A Sustainable Future", (Edited by Antonia Layard et al)

Sudharto P Hadi, 1996. Perilaku Warga Kota Semarang Dalam Menggunakan Transportasi. Lembaga Penelitian UDIP, Semarang

The Highways Agency. 1993. Environmental Assessment, Departement of Transportation, UK,

Transportation Research Board, 1985. Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington, DC, Transportation Research Board, Nasional Research Council,

Tresna Sastrawijaya., 1991. Pencemaran Lingkungan, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.

Tri Tugaswati, et all., 1987. Helth effects of air pollution due to aautomotive lead in Jakarta. Asia pasific Journal of Public Health 1 (4)

USEPA., 1994, 40 CFR Apendix W to Part 51 : Guideline on Air Quality Models, EPA-450/2-78-027R, pp.1018-1121

Wark, K., Cecil F. Warner., 1981. Air Pollution : its origin and Control 2nd Eds. Harper & Row, Publ. New York.

Wardana, W.A., 2001, Dampak Pencemaran Lingkungan, Penerbit ANDI, Yogyakarta.